

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra geotechniky a podzemního stavitelství 224

**Návrh stabilizačních opatření k zajištění bezpečnosti a stability zásypu hlavních důlních
děl při zatápění ostravské dílčí pánve**
**Design of Stabilisation Measures to Ensure Safety and Stability of Principal Mine
Workings during Flooding of Ostrava Partial Basin**

Student:

Bc. Marcel Poštek

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Nad'a Rapantová, CSc.

Ostrava 2017

Vložené zadanie

Prehlásenie študenta

Prehlasujem, že som celú diplomovú prácu vrátane príloh vypracoval samostatne pod vedením vedúceho diplomovej práce a uviedol som všetky podklady a literatúru.

V Ostrave

.....

podpis študenta

Prehlasujem, že:

- som bol oboznámený s tým, že na moju diplomovú prácu sa plne vzťahuje zákon č. 121/2000 Zb. – autorský zákon, najmä § 35 – použitie diela v rámci občianskych a náboženských obradov, v rámci školných predstavení a použitie diela školného a § 60 – školné dielo
- beriem na vedomie, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (ďalej len VŠB-TUO) má právo nezárobkovo pre svoju vnútornú potrebu diplomovú prácu použiť (§ 35 ods. 3)
- súhlasím s tým, že jeden výtlačok diplomovej práce bude uložený v Ústrednej knižnici VŠB-TUO k prezenčnému náhľadu. Súhlasím s tým, že údaje o diplomovej práci budú zverejnené v informačnom systéme VŠB-TUO
- bolo zjednané, že s VŠB-TUO v prípade záujmu z jej strany, uzatvorím licenčnú zmluvu s oprávnením použiť dielo v rozsahu § 12 ods. 4 autorského zákona
- bolo zjednané, že užiť svoje dielo – diplomovú prácu alebo poskytnúť licenciu k jej využitiu môžem len so súhlasom VŠB-TUO, ktorá je oprávnená v takom prípade od mňa požadovať primeraný príspevok na uhradenie nákladov, ktoré boli VŠB-TUO na vytvorenie diela vynaložené (až do ich skutočnej výšky)
- beriem na vedomie, že odovzdaním svojej práce súhlasím s jej zverejnením podľa zákona č. 111/1998 Zb., o vysokých školách a o zmene a doplnení ďalších zákonov (zákon o vysokých školách), v znení neskorších predpisov, bez ohľadu na výsledok jej obhajoby.

V Ostrave.....

.....

podpis študenta

Anotácia diplomovej práce

POŠTEK, Marcel.: *Návrh stabilizačních opatření k zajištění bezpečnosti a stability zásypu hlavních důlních děl při zatápní ostravské dílčí pánve*: Diplomová práce. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební, Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, 2017, 82 s. Vedúci práce: doc. Ing. Nad'a Rapantová, CSc.

Táto diplomová práca sa zaoberá problematikou stability hlavných banských diel pri zatápaní ostravskej dielčej panvy. Predmetom diplomovej práce je analýza likvidovania hlavných banských diel v minulosti a v súčasnosti. Úlohou je tiež tvorba variantných návrhov hrádze, ktorá zabráňuje vtláčaniu zásypového materiálu do horizontálnych diel. Návrhy sú spracované do 3D numerických modelov vytvorených v geotechnickom programe MIDAS GTS NX. Výstupom práce je zhodnotenie variantných návrhov a ich vhodnosť použitia pri zatápaní ostravskej dielčej panvy.

Kľúčové slová: Ostravsko dielčia panva, hrádza, zásypový materiál, vodný stĺpec, model, MIDAS GTS NX

Annotation of the Diploma

POŠTEK, Marcel: *Design of Stabilisation Measures to Ensure Safety and Stability of the Principal Mine Workings during the Flooding of Ostrava Partial Basin*: Diploma thesis. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Civil Engineering, Department of Geotechnics and Underground Engineering, 2017, 82 p. Thesis supervisor: doc. Ing. Nad'a Rapantová, CSc.

This diploma thesis deals with the stability of the main mining works during the flooding of the Ostrava Partial Basin. The subject of the diploma thesis is the analysis of the destruction of the main mining works in the past and at present. The task is also to create variants of the barrier which prevents the backfill material from being pushed into the horizontal parts. The designs are processed into 3D numerical models created in the MIDAS GTS NX geotechnical program. The output of the thesis is the evaluation of the variants and their suitability for use during the flooding of the Ostrava Partial Basin.

Key words: Ostrava Partial Basin, barrier, backfilling material, water column, Model, MIDAS GTS NX

Obsah diplomovej práce

Zoznam použitého značenia a skratiek.....	8
1. Úvod.....	10
2. Charakteristika územia ostravskej dielčej panve	12
2.1 Morfológia.....	12
2.2 Geológia	13
2.3 Hydrogeológia a problematika zatápania ostravskej dielčej panvy	15
3. Hodnotenie bezpečnostných rizík spôsobov likvidácie hlavných banských diel po zatopení	16
4. Vplyv ťažby na povrchu.....	20
4.1 Deformácie povrchu vplyvom poddolovania	20
4.2 Vplyv ťažby na vodných tokoch a vodných plochách	22
5. Likvidácia hlavných banských diel v OKR.....	24
5.1 Spôsoby likvidácie hlavných banských diel v OKR v minulosti.....	24
5.1.1 Likvidácia banských diel.....	24
5.1.2 Spôsob likvidácie banských diel	25
5.1.3 Spôsob likvidácie poschodí, priekopov a prienikov banských diel	26
5.2 Likvidácia banských diel podľa ČBU č 52/1997 Sb.....	27
5.2.1 Zásypový materiál v jame	27
5.2.2 Hrádze v horizontálnych dielach.....	30
5.2.3 Jamová zátka	31
5.2.4 Ohlubňový povál	31
6. Poruchy a nehody banských diel	32
6.1 Dol Gabriela	32
6.2 Dol Heřmanice	34
7. Posúdenie spôsobu likvidácie jamy a jej spoľahlivosti s využitím nespevneného zásypu a s použitím auto-stabilizačných hrádzí (jama Jakub).....	36

7.1	Úvodné informácie	36
7.2	Spôsob likvidácie jamy Jakub 1	38
7.3	Popis havárie a jej analýzy	39
8.	Návrh stabilizačných opatrení k zaisteniu bezpečnosti a stability zásypu	42
8.1	Popis situácie	42
8.2	Návrh hrádze variant A	43
8.3	Návrh hrádze variant B	45
8.4	Vhodnosť umiestnenia hrádze	46
9.	Tvorba a výpočet matematického modelu	47
9.1	Midas GTS NX	47
9.2	Výpočet zaťaženia	47
9.3	Model	52
9.4	Tvorba modelu	53
10.	Vyhodnotenie výsledkov	63
10.1	Varianta A	63
10.1.1	Hrádza	63
10.1.2	Tyčové ťahadlá	68
10.1.3	Horninové svorníky	71
10.2	Varianta B	72
10.2.1	Hrádza	72
	Záver a diskusia	74
	Podakovanie	76
	Zoznam použitých zdrojov	77
	Zoznam obrázkov	79
	Zoznam tabuliek	81
	Prílohy	82

Zoznam použitého značenia a skratiek

Značenie

α_d	uhol dilatácie	[°]
γ	objemová tiaž	[Nm ⁻³]
γ'	objemová tiaž za vztlaku vody	[Nm ⁻³]
γ_s	objemová tiaž skeletu	[Nm ⁻³]
μ	poissonovo číslo	[-]
μ_f	súčiniteľ trenia	[-]
φ	uhol vnútorného trenia	[°]
ϕ	uhol medzi zásypovým materiálom a ostením jamy	[°]
ω	aktívny tlak	[-]
A	plocha	[m ²]
E	elastický modul	[MNm ⁻²]
K_b	koeficient bočného tlaku	[-]
R	hydraulický polomer	[m]
S	objem	[m ³]
c	súdržnosť	[kNm ⁻²]
h	hlbka	[m]
k_f	koeficient filtrácie	[ms ⁻¹]
l_z	dĺžka auto - stabilizačnej zátky	[m]
n	pórovitosť	[-]
p_h	vodorovný tlak	[Pa]
p_v	zvislý tlak	[Pa]
p_w	tlak vodného stĺpca	[Pa]
q_f	trecia sila	[Pa]
u	obvod	[m]
w	súčiniteľ aktívneho tlaku zásypového materiálu	[-]

Skratky

HPV	hladina podzemnej vody	[m n. m.]
HDD	hlavni důlní díla	

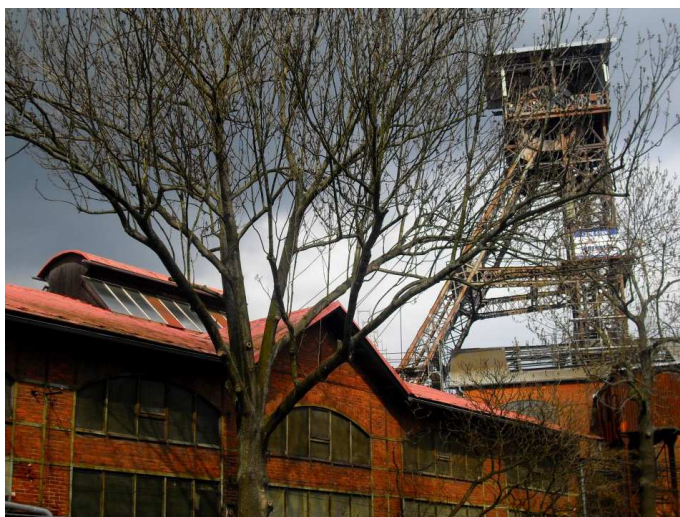
MKP	metóda konečných prvkov
NEL	nepolárne extrahovateľné látky
ODP	Ostravská dielčia panva
OKR	Ostravsko - karvínsky revír
SDD	stáří důlní díla

1. Úvod

Predložená diplomová práca sa zaoberá návrhom stabilizačných opatrení pri zatápaní ostravskej dielčej panve.

Začiatkom 50. a 60. rokov 18. storočia sa uskutočnili prvé objavy kamenného uhlia na sliezsko-ostravskom panstve Franza Josefa grófa Wilczka. Prvá známa zmienka doložená aj písomne je však až z roku 1763. Od tohto roku sa ostravská dielčia panva stala kolískou baníctva.

Najstarším a zároveň najvýznamnejším dolom grófa Wilczka bol dol Žentuorový, založený v roku 1805 s jednou jamou. Ten bol v roku 1858 zlikvidovaný a celé banské pole neskôr prešlo k bani Michál (Obr. 1), ktorá je dnes už národnou kultúrnou pamiatkou.



Obr. 1 Baňa Michal (Zdroj : Wikipédia)

Postupný dopyt po čiernom uhlí priniesol Ostrave veľký rozmach. V Ostrave sa začali naplno raziť doly a ťažiť čierne uhlie. V 2. polovici 18. a začiatkom 19. storočia sa razilo len v malých hĺbkach v takzvaných kutacích jamách, ktoré boli neskôr prebudované na banské viacúčelové jamy alebo na vetracie jamy. V polovici 19. storočia sa tak väčšina kutacích jám prehĺbila a začalo sa raziť vo väčších hĺbkach, dochádzalo k zavádzaniu mechanizmov a nových technológií. Koncom 19. storočia dochádzalo k úbytku alebo neekonomickému ťaženiu čierneho uhlia v baniach a následne k ich odstávke. Nadišlo tak ku poslednému cyklu a to k likvidácii. Útlm ťažby uhlia a likvidácia všetkých činných dolov bol uskutočnený v rámci štátneho programu útlm ťažby v OKR. Bol zahájený útlmový program takzvanej

neefektívnej časti ostravskej dielčej panvy, pod ktorú spadali bane Jan Šverma - lokalita Svinov, Odra - lokalita Koblov, Ostrava - lokalita Hlubina a Zárubek. V minulosti sa však nebral taký ohľad na likvidáciu banských diel ako dnes. Priestor v okolí nebol zastavaný občianskou výstavbou, len priemyslom súvisiacim s ťažbou. Tak dochádzalo k zasypávaniu jám prebytočným materiálom, bez akýchkoľvek problémov. Dnes, kedy je už Ostrava v rozkvetu a výstavba je všade naokolo, je omnoho dôležitejšie túto likvidáciu uskutočňovať správne. Likvidácia hlavných banských diel v priebehu ťažby uhlia alebo po ich ukončení je spojená s radom vplyvov, ktoré túto činnosť ovplyvňujú. Predovšetkým sa jedná o nestabilitu zásypového stĺpca v jamovom stvole, nestabilitu povrchu v okolí ústia diela na povrchu a exhaláciu škodlivých plynov v priebehu likvidácie. Dôsledky likvidácie banských diel, tak prinášajú negatívny dopad v okolí ústia diela alebo časti povrchu bývalých dobývacích priestorov. Napriek dodržaniu predpisov stanovených štátnou banskou správou, dochádza aj dnes k nehodám. Ako sme sa už mohli poučiť z histórie, pri likvidácii jamy Heřmanice, kedy došlo k explózii metánu.

Banský ovplyvnený priestor a okolie horninového masívu tvorí spojitý hydraulický systém. Ukončenie ťažby spolu s likvidáciou a zatopením dolov v rokoch 1991 – 1993 v ostravskej časti, vyvolali potrebu udržania hladiny podzemnej vody na kóte -389 m n. m.. K tomu slúži čerpadlo vybudované v bývalej ťažnej veži Jeremenko. Podzemná voda sa tak udržuje v patričnej hĺbke, aby nedochádzalo k zatopeniu petrvaldskej kotliny a odtiaľ do karvinskej kotliny, kde sa doposiaľ ťaží. V najbližších rokoch sa však ráta s ukončením ťažby aj v karvinskej kotline, dôsledkom čoho bude odstávka centrálneho čerpadla v bani Jeremenko. Voda tak z kóty -389 m n. m. stúpne až na predpokladanú úroveň +200 m n. m.. Dôsledkom toho môže nastať ovplyvnenie bezpečnosti a stability zásypu hlavných banských diel.

V minulosti a ešte dodnes nie je likvidácia jám stopercentne garantovaná v rámci jej stability a preto sa v svojej práci zaoberám ich stabilizačným opatrením a bezpečnosťou počas zatápania. Práca obsahuje dva návrhy nových hrádzí v horizontálnych dielach, ktoré majú za úlohu zabrániť úniku zásypového materiálu v jame po jeho zavodení do okolitých horizontálnych diel. Súčasťou hrádze je tiež jej schopnosť prepúšťať vodu, ktorá dopomáha vyrovnávaniu ostravského bazénu.

Výstupom práce je výber jedného variantného riešenia, ktoré poslúži ako jeden z bezpečnostných opatrení pri výstupe vody počas zatápania Ostravskej dielčej panve.

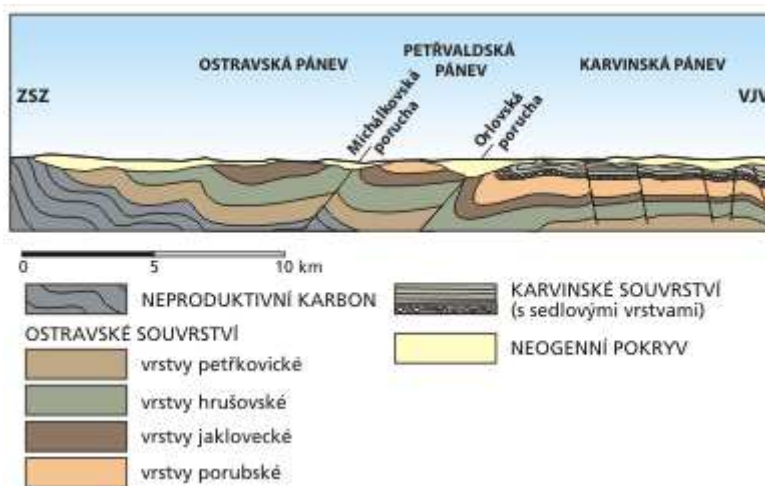
Územie naberá nadmorskú výšku od +197 m. n. m. v okolí Vrbických jazier a Odry až po výšku +323 m. n. m. v okolí Emy a severnej časti katastrálneho územia Sliezskej Ostravy. Veľký význam pri zatápaní majú karbónske okná, ktoré vystupujú na povrch od +200 m. n. m. pod Landeckým kopcom a stúpajú až na hodnotu +264 m. n. m..

2.2 Geológia

Ostravská panva sa nachádza v karpatskej priehlbine medzi dvomi hlavnými geologickými útvarmi – Českým masívom a Západnými Karpatami.

V treťohorách sa na území čelného príkrovu tvorila priehľbeň, do ktorej od juhu vnikalo more Tethys. Geosynklinálnymi poklesmi sa územie OKR ponorilo pod morskú hladinu a voda prenikla postupne do hlbokých korýt výmoľov. Prestupom miocenného mora sa zvyšovala erózna báza, čo viedlo k poklesu erózie a k akumulácií vodných splavenín. Vodné toky tečúce dnom výmoľov, ukladali svoje sedimenty pri svojich ústiach ako klastické vrstvy. Táto vrstva je v OKR nazývaná „detrit“ a má charakter hrubozrnných štrkov, štrkopieskov a suťových brekcií.

Podložie panvy tvoria brunovistulikum s pokryvom hlavne devónskych a spodno-karbónskych uloženín (Obr. 3).



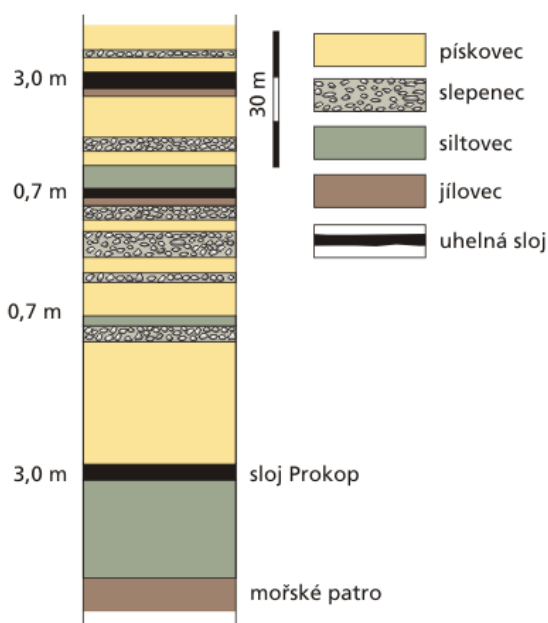
Obr. 3 Schematický rez ostravsko-karvinským revírom (Zdroj: [17])

Najdôležitejšie obdobie geologického vývoja je od paleozoika, presne v karbone, kedy dochádzalo k sedimentácii a vzniku uhoľnej sloje.

Karbónsky útvar je obecné delenie na starší spodný a mladší vrchný karbón. Spodný karbón je vo svojej spodnej časti väčšinou vyvinutý vo vápencových alebo bridličných

fáciach a ich sedimentácia pokračuje z vrchného devonu. Potom dochádza k veľkej zmene a prejavuje sa tu kulmský vývoj, ktorý odráža rôzne prejavy a variské orogenéze. Striedajú sa droby a bridlice v rôznych cykloch, od centimetrov až po niekoľko stoviek metrov. Vrchný karbón hornosliezskej panvy sa delí na ostravské a karvinské súvrstvie. Takmer celý komplex sedimentov vrchného karbónu je zakrytý neogénnymi sedimentami karpatskej prehlubne a flyšových pokryvov Západných Karpát.

Pre proces zatápania je mimoriadne komplikujúca zložitosť a rozsiahlosť ložiska čierneho uhlia. V OKR sa dobýva vo dvoch súvrstviach a to v ostravskom a karvinskom. Ich súvrstvie je výsledkom sedimentácie. Sedimentované prostredie v tejto časti viedlo k vzniku litologicky najpestrejšieho vrstevného postupu v celej paleoziockej histórii Českého masívu. Prevalu tu majú jemnozrnné pieskovce, prachovce a ílovce. Podiel zlepenecov dosahuje do 1 percenta. Ich celková mocnosť dosahuje až 3800 m a obsahujú časté uhoľné sloje o mocnosti až 120 m. Spodné súvrstvie obsahuje ešte vložky morských sedimentov (tzv. morské poschodia). Jednoduché znázornenie ostravského súvrstvia s morským poschodím je na obrázku 4 podľa prof. Jana Petránka [17]. Karvinské súvrstvie sa ukladalo po intranamurskému hiátu a ústupu mora k severu. Jeho klastika je len z kontinentálneho pôvodu. Zastúpenie hornín sa postupne mení a podiel pieskovcov a zlepenecov klesá od nadložia z priemerných 75% na 55 – 22% pri výraznom zastúpení prachovcov a ílovcov. Mladšie karvinské súvrstvie (cca 1000 m) je celé sladkovodného pôvodu a je malo postihnuté vrásnením.

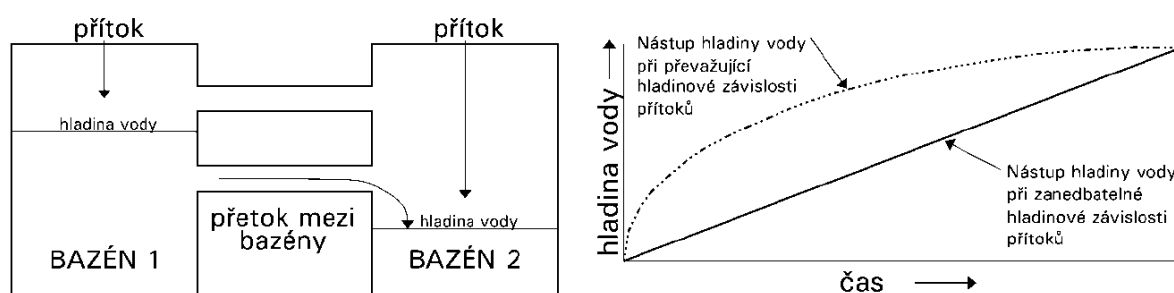


Obr. 4 Najvyššia časť ostravského súvrstvia s morským poschodím a najspodnejšia časť karvinského súvrstvia s význačnou slojov Prokop na bázy a s typickým výskytom zlepenecov. (Zdroj: [17])

2.3 Hydrogeológia a problematika zatápania ostravskej dielčej panvy

Problém spoľahlivej predikcie zatápania ostravskej dielčej panvy je tak zložitý, že bežnými spôsobmi je skoro nerealizovateľný. Jej prevedenie ovplyvňuje veľa aspektov od vstupných neistôt, veľkosti prítokov, nelineárneho zatápania až po odpor medzi jednotlivými bazénmi.

V podzemnej hydraulike sa uplatňuje Darcyho teória, ktorá vytvára vzťah medzi veľkosťou prítoku Q a hydraulickým spádom I . Príkladom môže byť tak prítok z detritu v dole, ktorom sa odčerpáva. Hydraulický spád nebude nulový po dobu, než hladina v následne zatápanom dole dosiahne bázy zdrojového kolektoru. Následne tak dochádza k znižovaniu hydraulického spádu (I) a teda prítok, ktorý je závislý na úrovni hladiny vody od miesta výtoku a bázy kolektoru. „Pokles prítoku v čase má logaritmický tvar a pokiaľ hladina v zatápanom dole dosiahne vytlačenej úrovne vody v zdroji kolektoru, prítok sa ustáľuje.“ [13 str. 146] Výsledok je znázornený na obrázku 5 vpravo.



Obr. 5 Princíp "bazénov" a "prítokov" (Zdroj: [14])

Tento princíp sa tiež komplikuje pri väčšom množstve kolektorov s rôznymi piezometrickými úrovňami hladín. V našom prípade sa tak jedná o prítoky z karbónu, detritu a miocénnych piesčitých polôh. Ďalšie ovplyvnenie je tiež to, že väčšina objemu k zatopeniu sa nachádza pod úrovňou ustálených hladín zvodní, z ktorých tieto prítoky sú. Pri celkovom prítoku v ODP netreba zabudnúť aj na prítok z povrchových vôd a prítok z akviférov z plytkých podzemných vôd. Výdatnosť týchto prítokov je však konštantná a je znázornená na obrázku 5 vľavo.

Z týchto dôvodov je teda zrejmé, že presnosť výsledku nie je možné určiť jednoduchým matematickým vyjadrením, že čas zatopenia je rovný celkovému objemu zatopenia k celkovej výdatnosti prítokov. Takto vyrátaný čas je len hrubým odhadom a skutočná doba zatopenia môže byť omnoho väčšia.

3. Hodnotenie bezpečnostných rizík spôsobov likvidácie hlavných banských diel po zatopení

Podľa Maluchy [14], môžeme rizika pri zatápaní rozdeliť do troch základných bodov:

1. riziko ohrozenia terénu a objektov na ňom, vlastným prítokom vody,
2. riziko hydrochemické, spočíva v možnosti kontaminácie kvartérnych podzemných a povrchových vôd,
3. strata stability zásypu jám – SDD.

Ad.1. Toto riziko je dôležité pre morfológický charakter územia. Ohrozené oblasti výstupom podzemnej vody sa lokalizujú v koridoroch eróznej bázy a to na vodných tokoch Ostravice, Odry, Stružky a Karvinského potoka. Ide teda o územie, kde tento charakter nemôže nastať, kvôli eróznej báze drenážnych prvkov v teréne, ktoré zaisťujú odvodnenie svojho okolia. Podzemná voda tak bude infiltrovaná do vodných tokov a nimi odvedená. Hydraulický režim v týchto dobre prietokových kolektoroch sa teda riadi drenážnym účinkom rieky. Drenážny účinok je v ohrozených oblastiach dostatočne silný, vďaka veľkému toku rieky Odry a Ostravice, zvýšený prítok banských vôd do akviféru (vodné zápolie) nebude v celkovej bilancii tak podstatný, aby vyvolal tlakové zmeny vody.

Problém však môže nastať a bude zložitejší v miestach, kde karbón vystupuje na povrch, takzvané karbónske okná. Tieto okná tvoria morfológické elevácie so značným prevýšením nad eróznymi bázami. Sú veľkoplošné a ich schopnosť infiltrovať vodu je spôsobená narušením banskou činnosťou. Okná sú miestami už zastavané, čiže spevnené, inde je zase vybudované odvodnenie. Preto pri zatopení banských priestorov až po úroveň eróznej bázy bude voda, filtrujúca karbónskou eleváciou, čiastočne infiltrovaná do vodných tokov a čiastočne bude vystupovať na povrch svahov. Tento jav sa hlavne týka starých banských diel, ktoré nie sú zdokumentované. Prípadné výstupy vody sa tak môžu riešiť individuálne až po ich prejavení.

Ohľadom skalného podložia karbónskych elevácií sa z inžiniersko-geologického pohľadu nepredpokladá, že by mohlo dôjsť k porušeniu diskontinuit a následnému zosuvu skalného svahu.

Vplyvom zvýšenia hladiny podzemnej vody však nastáva väčší problém, a tým je hydrochemický faktor.

Ad.2. Hydrochemické riziko nesie so sebou väčšiu vážnosť. Charakter banských vôd spočíva hlavne z vyšších koncentrátoch iónov chloridov, síranov a železa.

Chloridy pochádzajúce z terciérnych hydrogeologických kolektorov nevystúpia po ustálení tlakových pomerov vo zvodni po zatopení banských priestorov nad úroveň eróznej bázy. Voda s vysokým obsahom chloridových iónov nebude aktívne pretekať do povrchových vodných tokov alebo kvartérnych akviférov. Predpokladá sa tak časovo obmedzené miešanie vody salinitnej a sladkej (infiltrujúce sa z povrchu) v obmedzenej hĺbke banského prostredia, kde sa v dlhšom časovom horizonte predpokladá vplyv difúzie.

Sírany a železo sú viazané na karbónsky masív. Do banských vôd sa uvoľňujú v prvej fáze zatopením starín rozpustením a vyplavovaním solí, ktoré boli desiatky až stovky rokov akumulované v banských dielach a pri zatápaní prestupujú späť do vodného roztoku. Toto uvoľnenie tak spôsobuje nárast koncentrácie vôd. V ďalšej fáze sa začnú prejavovať oxidačno-redukčné procesy, ktoré sú ovplyvnené predovšetkým obsahom železa vo vode. Počas ťažby, kedy bol masív vysušený sa železo uvoľňovalo oxidáciou minerálov (pyrit). Ukladaním v podobe hydroxidov vznikla zásoba oxidovaného železa spolu s veľkým množstvom železného materiálu zanechaného v baniach. Po zatopení teda dôjde k rozpusteniu hydroxidov a uvoľneniu železa do banských priestorov, ale s viazanosťou železa a síranu na karbónsky masív bude toto uvoľňovanie dlhodobé.

S banským materiálom zachovaným v banskom priestore súvisí problematika nepolárnych extrahovaných látok (NEL). Tieto látky sú v prostredí cudzorodé a ich výskyt vo vodách je vážnejší než výskyt chloridu, síranu a železa. Výsledky monitoringu chemizmu vôd (Tab. 1 a 2) z VJJ a VJŽ, však nenaznačujú, aktuálnosť tohto problému. Dôsledkom môže byť ich menší výskyt a absorpčná schopnosť na okolité horninové prostredie.

Dátum		14.01. 2015	25.02. 2015	16.03. 2015	21.04. 2015	26.05. 2015	18.06. 2015	13.07. 2015	26.08. 2015	14.09. 2015	15.10. 2015	20.11. 2015	04.12. 2015
teplota	[°C]	25,4	25,1	25,1	25,2	25,2	25,3	24,8	24,4	24,8	26,1	23,7	24,6
vodivost'	[$\mu\text{S cm}^{-1}$]	14 800	14 500	14 600	14 500	14 400	14 400	14 400	9 380	13 600	12 600	15 400	15 500
NL	[mg dm ⁻³]	23	22	25	27	<10	28	<10	<10	41,0	<10	<10	<10
RAS	[mg dm ⁻³]	8 500	7 800	8 400	8 200	8 500	8 600	8 200	5 900	7 700	7 100	8 200	8 300
SO ₄ ²⁻	[mg dm ⁻³]	377,0	356,0	401,0	421,0	431,0	384,0	377,0	606,0	428,0	462,0	277,0	277,0
CL ⁻	[mg dm ⁻³]	4 030	3 560	3 830	3 830	3 280	3 800	3 540	1 720	3 380	2 750	4 220	4 290
Fe	[mg dm ⁻³]	0,161	0,348	0,255	0,622	0,421	0,357	0,373	1,200	1,490	0,103	0,422	0,179
NEL	[mg dm ⁻³]		0,110			0,116			<0,05			<0,05	

Tab. 1 Chemizmus vôd VJŽ (tabuľku poskytlo DIAMO s. p.)

Dátum		14.01. 2015	25.02. 2015	16.03. 2015	21.04. 2015	26.05. 2015	18.06. 2015	13.07. 2015	26.08. 2015	14.09. 2015	15.10. 2015	20.11. 2015	04.12. 2015
teplota	[°C]	24,2	23,7	23,8	24,5	24,4	24,7	23,3	23,5	23,9	25,4	24,2	24,2
vodivost'	[$\mu\text{S cm}^{-1}$]	21 400	20 400	22 000	21 100	20 500	21 500	21 900	21 000	20 800	20 800	20 700	18 400
NL	[mg dm ⁻³]	29,0	<10	45,0	44,0	<10	11,0	<10	<10	59,0	12,0	<10	<10
RAS	[mg dm ⁻³]	12 000	12 000	11 000	12 000	11 000	12 000	12 000	12 000	11 000	11 000	11 000	9 700
CL ⁻	[mg dm ⁻³]	7 130	6 840	7 800	7 490	6 370	7 590	7 200	6 960	6 990	6 590	7 010	6 130
SO ₄ ²⁻	[mg dm ⁻³]	11,9	11,7	28,7	11,9	13,8	12,9	13,3	16,9	12,6	13,6	11,7	13,7
Fe	[mg dm ⁻³]	0,061	<0,05	0,340	0,128	0,582	<0,05	0,203	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	1,260
NEL	[mg dm ⁻³]		<0,05			0,155			<0,05			<0,05	

Tab. 2 Chemizmus vôd VJŽ (tabuľku poskytlo DIAMO s. p.)

Ad.3. Z hľadiska geotechniky je pre nás najviac významné riziko narušenia stability na povrchu ústia zlikvidovaného diela a v jeho bezprostrednej blízkosti. Stabilita diela sa vyvíja od charakteru výplňového materiálu. Vplyvom zatápania sa HPV zvyšuje a zalieva tak výplňový materiál, ktorému odoberá šmykovú zložku (súdržnosť). Stabilita zásypu je preto pojmom so širokým obsahom a záberom, vyjadrujúcim komplexné požiadavky na spoľahlivosť likvidácie jamy. Pre spoľahlivosť zásypu a minimalizáciu sadania zásypu je tak možné definovať obecné faktory nasledovne :

- materiálové vlastnosti zásypu,
- technológia prevádzania zásypu,
- vplyv hydrogeologických pomerov,
- likvidácia poschodí, priekopov a prienikov banských diel do jamy,
- monitoring jamy a eliminácia nehôd,
- zaistenie stability ústia jamy,
- zaistenie stability pred začatím likvidácie.

Pri dodržaní všetkých uvedených faktorov, dochádza k výraznej stabilite likvidovanej jamy a jeho okolia.

U väčšiny SDD nie je však známa zložka výplne, použité výstuže v diele, ani spôsob likvidácie, dokonca veľa zlikvidovaných SDD nemá ani presnú lokalizáciu a rok zlikvidovania. Preto je možné predpokladať rôzne prejavy na teréne, ako je napríklad poklesová kotlina. V takýchto odhalených prípadoch bude nevyhnutné realizovať rozsiahly monitoring, vďaka ktorému bude možnosť narušený terén včas sanovať a stabilizovať. V prípade vzniku poklesových kotlín bude miestami nutné tieto kotliny (prepadliny) zasypávať, kvôli možnému priesaku podzemnej vody na povrch.

V prípade HDD, kde je väčšina podstatných parametrov známa, závisí už len na dobre vypracovanom projekte likvidácií a ich realizácií v minulosti. Z väčšej miery sú HDD už sanované alebo stále monitorované. Treba však predpokladať, že vplyvom zavodnenia horniny, bude zásypový materiál sadieť a bude musieť byť preventívne dosypávaný. V prípadoch HDD by už tak nemalo dochádzať k veľkým poruchám na povrchu.

4. Vplyv ťažby na povrchu

Ťažba uhlia prináša veľký dopad na životné prostredie, ktorý sa prejavuje viacerými spôsobmi, či už dlhodobými alebo krátkodobými. Následkom poddolovania vznikajú poklesové kotliny, zmeny režimu podzemnej vody spolu s výronom metánu na povrchu a pod.. Miera ovplyvnenia závisí od rôznych faktorov, ktoré sa odvíjajú predovšetkým od geologického charakteru uhoľného ložiska. Uhoľné ložisko je tak charakterizované počtom a mocnosťou sloji, hĺbkou uloženia pod povrchom, typom uhlia ako surovinou, hydrogeologickým režimom ložiska, hydrogeológiou povrchu, hustotou osídlenia atď.. Na základe tejto geológie ložiska je určený spôsob ťažby, hlbinnou alebo povrchovou, výber dobývacej metódy, vetrania, odvodnenia a pod.. Preto nie je možné určiť jednoznačne všeobecné ovplyvnenie na povrchu a v každom revíri sa tak vplyv prejavuje rôznymi spôsobmi.

4.1 Deformácie povrchu vplyvom poddolovania

Jedným z dôsledkov dobývania ložísk uhlia, je vznik poklesových kotlín na povrchu, v niektorých prípadoch až prepád povrchu. Deformácie povrchu vplývajú na morfológiu krajiny a to má negatívny dopad na stavby. V OKR sa veľkosť deformácií poklesových kotlín určoval Balsovou metódou, dnes sa určuje upravenou metódou Knotheho. Vlastný výpočet poklesov z odrúbaných plôch je uskutočňovaný počítačovým programom firmy OKD, a.s., IMGE, v ktorom je algoritmus výpočtu založený na už zmieňovanej metóde Knotheho. Pokles sa ráta podľa vzorca 1 [15]:

$$s = s_{max} \left(1 - \exp \left(-\pi \frac{x^2}{r^2} \right) \right) \quad (1)$$

Poklesy sú počítané s presnosťou na milimeter, avšak výpočtová hodnota oproti skutočnej je väčšia, čo je dôsledok koeficientov bezpečnosti. „Výpočet poklesov povrchu, ktorý je spôsobený ťažbou uhoľných slojí a prognóza týchto pohybov je teda zatiaľ otvorenou problematikou, ktorá je vzhľadom k rozmanitosti a odlišnosti prírodných úložných podmienok i vzhľadom k anizotropii horninového masívu pomerne zložitá.“ [15 str. 37] Preto je potrebné pre výpočet poklesov zvoliť správny postup, ktorý má najbližšie k reálnym

výsledkom. Knotheho výpočtová metóda je teda doposiaľ najlepšie odpovedajúca metóda výpočtu skutočným podmienkam používaným v OKR.

V minulosti sa uskutočňovalo veľa porovnaní skutočných a výpočtových poklesov, ktoré uvádza prof. Černý. [6] Porovnania prebiehali hlavne v dielčej panve karvinskej oblasti (34 objektov), ale mnoho ich bolo uskutočnených aj v ostravskej dielčej panve. Prejavy ťažby na povrchu v ODP boli však na vytŕažené množstvo v porovnaní s karvinskou oblasťou menšie. Poklesy v ODP dosahovali miestami až do 20 metrov. Príkladom môže byť pokles sliezskoostrovského hradu, ktorý klesol až o 14 m. Dobývacími prácami boli ovplyvnené aj závody alebo rodinné domy. Ovplyvnené boli napríklad aj strojársky podnik Vítkovice, elektrárň Třebovice, sídlisko Šalomoun, pekárstvo v Doubravě (Obr.6), atď.. V ostravskej časti bola ťažba ukončená v roku 1994, ale poklesy sa predpokladajú ešte desiatky rokov po uzavretí baní.



Obr. 6 Pekárstvo Doubravě po vplyve dlhodobej ťažby bane Doubrava (foto M. Havrlant)

Celková hmotnosť odobraných hmôt z litosféry pri ťažbe čierneho uhlia od roku 1782 je v českej časti hornosliezskej panvy cca 16,35 miliárd ton, čo je na 1 km² 4,25 miliardy ton uhlia, horniny a vody. Pri takomto vytŕaženom množstve dochádzalo k veľkému uskladneniu hlušiny, ktorá bola väčšinou deponovaná do zavodnených poklesových kotlín. Časť hlušín bola využitá na sanáciu poklesov, napríklad nasypáním hrádzi pozdĺž vodných tokov, na vyrovnanie či navýšenie území postihnutých poklesovými kotlinami alebo pre hrádze kalov. V ostravskej časti bolo vybudovaných dvadsať odvalov, ktoré sa postupne likvidovali, respektíve využívali na už spomenuté prípady. Doposiaľ v OKR bolo pre rôzne účely

použitých 65% všetkých vyťažených hlušín. Hlušina sa tak prejavila ako významná druhotná surovina, nielen na plošnú asanáciu poddolovaného územia, ale ja na likvidáciu banských diel.

4.2 Vplyv ťažby na vodných tokoch a vodných plochách

Vplyv ťažby uhlia na vodné toky sa prejavuje na povrchu poklesmi alebo horizontálnymi posuvmi. V prípade riek má veľký význam oboje. Pokles znehodnocuje funkčnosť objektu a horizontálne pohyby spôsobujú ohrozenie stability objektu. Absolútna hodnota poklesu ovplyvňuje objekt dvoma spôsobmi. Prvý nastáva, keď koruna prelivu u poddolovaného splavu nezaistuje už predpísanú kótu odberu vody, poddolovaním stupňa sa tak znižuje jeho spádová funkcia. V druhom prípade môže nastať opak, kedy stupeň môže pôsobiť ako prekážka odtoku. Horizontálne pohyby spolu s nerovnomerným sadaním majú za následok narušenie objektu, v niektorých prípadoch až jeho zničenie.

V prípade riek je treba hlavne dbať na relatívne poklesy a horizontálne posuny. Relatívne denivelácie u riek nespôsobujú až také problémy. Rieky, respektíve riečne koryto je dostatočne poddajné pri vzniku deformácií terénu a tak sa im prispôbujú. Hlavným problémom pri poddolovaných vodných tokoch sú spádové pomery. Vertikálne poklesy spôsobujú deformáciu pozdĺžneho profilu, dôsledkom čoho dochádza k zmenám vodného režimu. Vytvorením poklesovej kotliny dochádza k dvom javom a to v pozdĺžnom profile. Na jednej strane sa zvyšuje erózna činnosť a na druhej strane dochádza k strate sklonu, spôsobeného záplavami priľahlého územia. V spodnej časti poklesovej kotliny nastáva zníženiu sklonu dna oproti pôvodnej hodnote, dôsledkom čoho dochádza k jeho relatívnemu zvyšovaniu. Vzdialenosti medzi hladinami tokov a korunou brehu sa zmenšujú, ústiace rieky strácajú svoj spád, hladina podzemných vôd zodpovedajúca hladine rieky sa zvyšuje a okolité pozemky sa tak postupne zatápajú. Zmenšením sklonu a prietokovej rýchlosti dochádza k ukladaniu splavenín a postupnému zvyšovaniu dna. Úsek charakterizovaný znižovaním sklonu sa nazýva spádovo pasívny. Opakom je horná časť poklesovej kotliny, v ktorej dochádza k nárastu sklonu dna toku oproti pôvodnej hodnote. Nastáva zvýšená erózna činnosť, pri ktorej sa dno rieky postupne prehĺbuje a úsek sa stáva spádovo aktívnym. Ak je medzi oboma popísanými úsekmi dostatočne dlhá vyrovnaná časť, mala by sa medzi nimi vytvoriť oblasť s vyrovnanými, nezmenenými spádovými pomermi. Úseky s rovnakou veľkosťou poklesu sú však príliš krátke a sú postihnuté sedimentáciou splavenín. Preto

v praxi dochádza k vývinu len úsekom spádovo pasívnym a aktívnym, ktoré na seba nadväzujú.

Podľa zákonných a podzákonných noriem sa z hľadiska správy toky vôd členia do kategórií významných a drobných tokov. Významných tokov podľa Maníčka [15], je postihnutých 115 km vplyvom poddolovania. Toky riek a ich ovplyvnená dĺžka je uvedená v tabuľke 3. Údaje o dĺžke ovplyvnených tokov sú z Povodí Odry, s.p.. Tento podnik sleduje toky v OKR od svojho založenia, na riečnych tokoch merajú cca každé 4 roky poklesy a informujú štátnu správu. Na základe získaných údajov sa potom navrhujú príslušné opatrenia a sanácie. Členitosť výškového povrchu Ostravska nie je rovnomerná a tak vodné toky nemajú príliš veľký pozdĺžny sklon, čo je z hľadiska sanácie poklesov nepriaznivou okolnosťou.

Rieky a potoky	Dĺžka ovplyvneného toku poddolovaním [km]
Odra	15,1
Prubka	1,9
Opava	0,9
Černý potok	5,0
Ostravice	23,0
Olešná	9,5
Lučina	4,8
Sušanka	7,0
Stružka	10,1
Olše	21,5
Stonávka	7,9
Karvinský potok	8,3
Celkom	115,0

Tab. 3 Dĺžka ovplyvneného toku pod dolovaním v OKR (Zdroj: [15])

Vodné plochy na Morave a Sliezsku sú vytvorené skoro všetky človekom a jeho činnosťou. Banícka činnosť tak prispela k vzniku a zániku prírodných a umelých vodných plôch. Nové vodné plochy boli vytvorené pre proces úpravy uhlia. Vytvárané boli hlavne v okolí riečnych tokov v poklesových kotlinách. Jednalo sa prevažne o odkaliská a úložiska hlušiny, v novej vybudovanej vodnej ploche, ale často aj v starších rybníkoch. Prírodné vodné plochy, vytvorené poklesom povrchu, vplyvom ťažby uhlia boli asanované hlušinami alebo boli ponechané ako rybník. Ak porovnáme minulosť (cca posledných 750 rokov) so súčasným stavom zistíme, že v OKR došlo k veľmi radikálnemu zníženiu rozlohy vodných plôch, v niektorých prípadoch i k úplnej zmene charakteru.

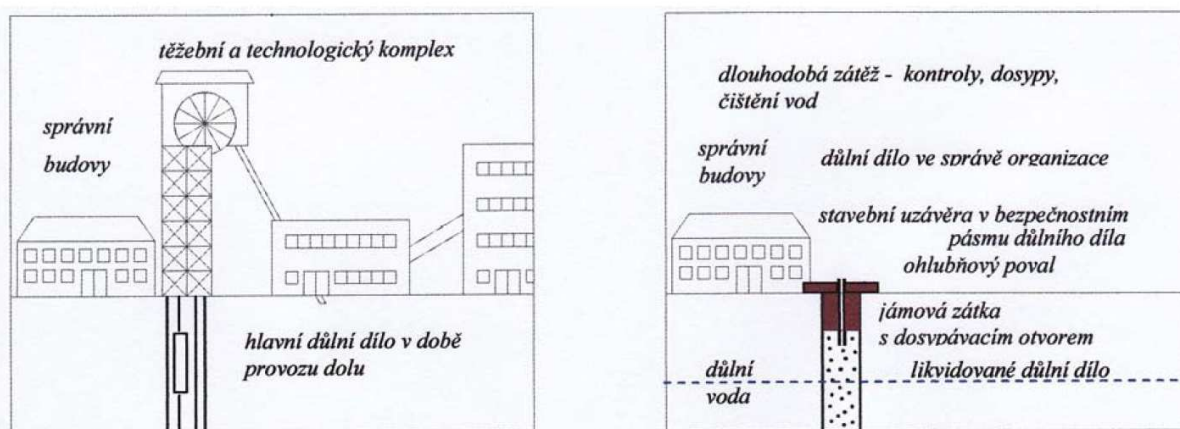
5. Likvidácia hlavných banských diel v OKR

5.1 Spôsobý likvidácie hlavných banských diel v OKR v minulosti

Pri ukončení banskej činnosti dochádza k poslednej etape a tou, je jej vlastná likvidácia. Za roky práce v baniach a ich prevoze sa stráca veľa podstatných informácií, ako napríklad o mechanických či fyzikálnych vlastnostiach hornín alebo výstuži diela. Rovnakým príkladom strát informácií je tiež sprivatizovanie, či predávanie areálov dolov inej organizácii. Všetky tieto aspekty tak vplývajú na návrh likvidácie banských diel a dochádza tak k chybám a zvyšovaniu nákladov pri ich odstránení.

5.1.1 Likvidácia banských diel

Likvidácia hlavných banských diel je poslednou fázou spojenou s činnosťou ťažby nerastných surovín.



Obr. 7 Schéma hlavného banského diela pred a po likvidácii (Zdroj: [5])

Likvidáciou sa myslí trvalé uzavretie banských priestorov s cieľom minimalizovať alebo až úplne vylúčiť riziká s tým spojené. Pod pojmom riziká sa myslí hlavne zníženie deformácií na povrchu a v bezprostrednom okolí ústia hlavného banského dolného diela ústiaceho na povrch, výstup banských plynov a ovplyvnenie hladiny podzemnej vody a povrchových tečúcich vôd. Práce týkajúce sa likvidácie patria medzi najdôležitejšie činnosti týkajúce sa ťažby nerastných surovín. Práce sú dôležité hlavne kvôli okolitej zástavbe, ktorá sa prevažne vybuodovala počas ťažby alebo aj po jej ukončení. Likvidáciou sa má tak predísť nežiaducim

škodám na týchto objektoch a ich sanácii. Požadované opatrenia likvidácie banských diel sa tiež týkajú života ľudí bývajúcich alebo pohybujúcich sa v bezprostrednom okolí.

Skorá, respektíve včasná a odborná príprava na likvidáciu, predchádza nechceným nehodám (kapitola 6) a mimoriadnym udalostiam spojeným so stratou života a majetku. Nestabilita a zlyhanie konštrukcie bývajú zapríčinené hlavne nedostatočnou prípravou banského diela na likvidáciu, nedostatočnými znalosťami, zlým odhadom možných negatívnych javov a nesprávnym prevedením likvidačných prác. Často sú banské diela opustené, neudržiavané alebo nezlikvidované bez dodatočných informácií. Takto nezlikvidované banské diela môžu komplikovať technické riešenia likvidácie alebo podstatne navýšiť náklady spojené s touto činnosťou. Z minulosti máme skúsenosti s niektorými zrušenými banskými dielami, pri ktorých bola likvidácia obzvlášť náročná hlavne kvôli chýbajúcej dokumentácii. Náročnosť pri takomto diele závisí od závažnosti negatívnych dopadov na životné prostredie a na ďalších faktorov ako sú napríklad typ výstuže v diele, geomechanické vlastnosti hornín či hydrogeologické podmienky oblasti.

5.1.2 Spôsob likvidácie banských diel

Banské diela v minulosti boli likvidované viacerými spôsobmi a z mnohých sa už nedochovala ani dokumentácia. Pôvodné plytké, málo hlboké jamy boli spravidla likvidované „odpadom“ z vytŕaženého materiálu. Takto zlikvidované jamy často sadali alebo dochádzalo k zosuvu do voľného priestoru. Na povrchu tak vznikali poklesové kotliny.

Banské diela boli zasypávané aj iným rôznorodým materiálom, najčastejšie však halodvinou, ílovitou zeminou, štrkom, popolčekom alebo ďalším prebytočným materiálom. Na povrchu ústia diela sa používala ílová zátka, ktorá slúžila ako jamový povál a plynová zátka. Príkladom takejto použitej zátky je jama Antonín (Obr. 8).



Obr. 8 Jama Antonín pred Moravskoslezským divadlom (Zdroj: Wikipédia)

Pri takomto zaistení diela je obzvlášť nebezpečné ušmyknutie zásypu pod týmto povalom, kde vzniká voľný priestor priamo v bývalom diele. Takto kedysi vybudovaná zátka nezaručuje tiež únik banských plynov, vplyvom porušenia horniny v okolí jamového stvolu.

5.1.3 Spôsob likvidácie poschodí, priekopov a prienikov banských diel

Likvidácia banských jám súvisí aj s likvidáciou horizontálnych diel, ktoré boli vybudované v jednotlivých poschodiach z jamy. V jednotlivých poschodiach sú v požadovanej vzdialenosti a podľa druhu zásypového materiálu budované steny alebo hrádze zo súdržných, nesúdržných materiálov alebo takzvané auto-stabilizačné zátky.

Pri vybudovaných stenách sa posudzuje tlak zásypového materiálu a tlak vody pôsobiacej na stenu. Nestabilita steny je determinovaná degradáciou pevnostných vlastností použitého materiálu spôsobená hydrodynamickým účinkom vody.

Hrádze budované z nesúdržných materiálov sa zväčša budovali z popolku, upraveného proti rozplaveniu na vzdušnej strane hrádze (do banského priestoru). Nestabilitu hrádze však môžu po zaplavení spôsobiť hydrodynamické účinky vody, spôsobujúce vyplavovanie jemnozrnných častí.

Poslednou používanou metódou je takzvaná auto-stabilizačná zátka. Ide o zásypový materiál, ktorý sa vtláča do horizontálnych diel, pod výpočtovým uhlom a na výpočtovú vzdialenosť. V tom prípade je nutné pri likvidácii rátať aj s týmto objemom zásypového materiálu. Dĺžka auto-stabilizačnej zátky l_z je možné stanoviť zo vzorca 2 [2], ktorý je použitý v praktickej časti vzhľadom na vhodnosť umiestnenia hrádze.

$$l_z = \frac{b[\sigma_x - \frac{h}{2}tg^2(45 - \frac{\varphi}{2})\gamma]}{\gamma \cdot tg\delta[b + h \cdot tg^2(45 - \frac{\varphi}{2})]} \quad (2)$$

Ich stabilita je determinovaná stálosťou mechanických vlastností zásypového materiálu a predovšetkým hydrodynamických síl prúdenia vody zásypom. Pri pôsobení vody, respektíve v zavodnenom prostredí sa dĺžka auto-stabilizačnej zátky zväčšuje.

Pre každý typ hrádze (stena) je nutné predpokladať degradáciu materiálu pôsobením hydrodynamických vplyvov vody. Preto sa pevnosť preukazuje zo vzťahu k ich očakávanému zaťaženiu pre ich najnepriaznivejší prípad.

5.2 Likvidácia banských diel podľa ČBU č 52/1997 Sb.

Pri prevádzaní likvidácií jám boli vytvorené rôzne kombinácie na ukončenie hlavných banských diel. Vytvorenie optimálneho návrhu na požadovanú likvidáciu jamy je ovplyvnené viacerými faktormi. Najdôležitejší faktor je stanovenie charakteristiky likvidovaného jamového stvolu, hlavne prierezu, druhu jamovej výstuže a druhu masívu, v ktorom je jamový stvol budovaný. Ďalšími faktormi je stanovenie podmienok, ktoré v likvidovanej jame prevládajú, respektíve objemu banských vôd a ich síl prítoku, vytvorenie metánu s množstvom následnej migrácie. Po stanovení všetkých dôležitých faktorov je následne vytvorený projekt likvidácie. Projekt likvidácie zahŕňa hlavne: zásypový materiál jamy, hrádze v horizontálnych dielach, jamové zátky a ohlubňový povál.

5.2.1 Zásypový materiál v jame

Pre likvidáciu jám, jasne udáva vyhláška ČBU č 52/1997 Sb. § 5 odstavec 1, že jama musí byť likvidovaná spevneným zásypovým materiálom v celej jej výške. Nespevnený zásypový materiál je možné použiť len vtedy, keď to dovoľuje charakter jamy a to len na základe povolenia obvodného banského úradu.

Cieľom likvidácie je trvalé a bezpečné zaistenie spoľahlivosti stavby tak, aby v neskorších rokoch neohrozil rozvoj deformácií v ústí jamy. Vplyv deformácií vedie k zrúteniu po prípade uniknutiu zásypu, čo by ohrozilo povrch vplyvom výstupu nebezpečných plynov do atmosféry.

Z vyhlášky je teda jasné, že likvidovanie jamy je možné:

1. spevneným materiálom,
2. nespevneným materiálom.

Ad. 1. Spevneným zásypovým materiálom sa rozumie zmes plniva so spojivom, ktorá na vzduchu alebo vo vode tuhne a tvrdne a následne pri styku s vodou nestráca svoje vlastnosti. Tento zásyp by mal zodpovedať vlastnostiam betónu. V kľúčových miestach poschodia, by mala zmes vykazovať pevnosť zhodnú s betónom triedy C15/20. Nasledovať by mal úsek s pevnosťou triedy betónu C5/10 a pri spodnom konci sa znižuje na pevnosť 2 MPa.

Výhody nespevnených zásypov sú [2]:

- počiatočná vysoká spoľahlivosť likvidácie a stabilita zásypu,
- dokonalé zaplnenie a počiatočné utesnenie podzemného priestoru,

- odstránenie nebezpečenstva výbuchu pri prevádzaní zásypu,
- samostatnosť zásypu a prakticky nulové tlaky na hradiace konštrukcie po zatvrdnutí.

Nevýhodami spevnených zásypov sú [2]:

- značne vyššie náklady pri likvidácii,
- absencia informácií o koróznej odolnosti spevnených materiálov, zmršťovanie pri tuhnutí, priebeh procesov hydratácie pri zvýšených tlakoch,
- použitie ľahkých materiálov s malou hmotnosťou a zrnitosťou,
- vylúčenie možnosti kontroly stavov a správania sa zásypu,
- zložitosť z hľadiska únosnosti náročnej opornej konštrukcie,
- absencia znalosti napätových deformačných stavov spevneného zásypu (možnosť drvenia zásypu a urýchľovania priebehu korózných procesov),
- zložitosť technológie prípravy a nutnosť pravidelnej kontroly dodržiavania pri betonáži do vody.

Problémy nestability spevneného zásypu sú [2]:

- postupné narušenie štruktúry materiálu zásypu, proces korózie materiálu, ktoré môžu viesť až k totálnemu rozpadu a rozloženiu na základné zložky,
- drvenie stĺpca zásypu a jeho postupná degradácia (vlastná tiaž, deformačné procesy okolia a pod.) vedúce v konečnom stave k vzniku suspenzie, ktorá je vysoko citlivá na indukované pórové tlaky (stekutenie), vyvoláva vysoké hodnoty zaťaženia uzatváracích objektov s možnosťou „vytečenia“ do banských diel,
- ohrozenie stability ústia jamy a jeho okolia po rozpade štruktúry zásypu.

Všetky prejavy nestability sa však prejavajú až v priebehu času, kedy po počiatočnej stabilite zásypu dôjde k jej znižovaniu vplyvom vymenovaných vplyvov. Nestabilita je však diskutabilná a záleží od veľa faktorov. V danej situácii je teda nutné podotknúť, že uvedené prejavy nestability spevneného zásypu nie sú preukázané. Pri likvidácii hlavných banských diel je potreba klásť veľký dôraz na vlastnosti použitého materiálu a následne aj na vlastnosti zmesi, ktorá bola z daného materiálu vytvorená. Je teda dôležité dbať na vlastnosti finálneho produktu, hydraulicky stabilné zátky, odolnosť proti agresívnym vodám, plynovú nepriepustnosť a ďalšie požiadavky. Pri dodržaní všetkých požiadavok sa táto metóda likvidácie považuje za najbezpečnejšiu a je vyhláškou doporučená, ak nie je v danej situácii výhodnejšie použiť nespevnený zásyp.

Ad. 2. Nespevneným zásypom sa rozumie kamenná drť s ostrými hranami o maximálnej veľkosti zrna 300 mm, vznikajúca drvením prírodných hornín, demolačného alebo lomového odpadu. Pri nespevnenom zásype na rozdiel od spevneného dochádza, vplyvom stúpajúcej výšky stĺpca plniva v jame, k jeho roztláčovaniu a pôsobí na jamu horizontálnym tlakom a vtlačaniu zásypu do horizontálnych diel. Spolu so vzrastajúcim zaťažením sa vytvárajú šmykové trenia medzi zásypom a jamovou výstužou, čím následne dochádza k stabilizácii horizontálnych tlakov. Tieto tlaky potom zostávajú nad svojou konštantou a zabráňujú ďalšiemu rozpínaniu zásypového materiálu do horizontálnych diel.

Výhody nespevneného materiálu sú [2]:

- nižšie náklady,
- relatívne jednoduchá technológia,
- dostupnosť materiálov, relatívne konštantnej kvality,
- dlhodobá spoľahlivosť stability zásypu pri dodržaní parametrov a konštrukcie stĺpca zásypu a spoľahlivosti oporných bodov.

Nevýhody nespevnených zásypu sú [2]:

- nebezpečenstvo vzniku zapálenia metánu pri prevádzaní zásypu,
- drvenie zŕn pri páde materiálu,
- citlivosť na ponechanie prekážky v jame,
- nutnosť kontroly zrnitosti materiálu,
- potreba budovania dlhodobej spoľahlivosti oporných konštrukcií na poschodí,
- priepustnosť zásypu pre plyn a vodu,
- nutnosť odvodnenie zásypu v niektorých prípadoch, poprípade budovanie tlakových hradiacich objektov.

Problémy nestability nespevneného zásypu sú [2]:

- stlačovanie (sadanie) zásypu a vytváranie voľných priestorov pod poschodovými alebo ohlubňovými zátkami,
- vtlačovanie zásypu do horizontálnych diel pri prekročení únosností hrádzi, starých uzatvorených prienikov v jamách a podobne,
- hydraulická nestabilita stĺpca zásypu v jame a zásypu v horizontálnych dielach,
- nestabilita ústia jám ako dôsledok rôznych foriem nestabilných zásypov,
- nestabilita a zavaľovanie stien jám v dôsledku vzniku kaverne a nezaplnených priestorov,

- uchádzanie zásypu do horizontálnych diel v dôsledku pôsobenia hydrodynamických síl,
- vytváranie samovoľných zátok a uzáveru jamy pri nedodržaní technológie a skladby materiálu.

Vymenované problémy nestability boli už v minulosti zaznamenané. Viac o haváriách je v kapitole 6. Havárie nastali vplyvom nedodržaní technologického postupu. Príčinou boli hlavne chybné navrhnuté uzatváracie objekty, podcenenie účinkov sufózie a absencia monitoringu a kontroly. Tieto faktory sa dajú ovplyvniť, ale nie eliminovať, a preto je vo vyhláške doporučené používať spevnený zásyp.

5.2.2 Hrádze v horizontálnych dielach

Jamové hrádze v horizontálnych dielach sú objekty, ktoré zabraňujú vtlačovaniu jamového zásypu do horizontálnych diel alebo inému úniku do priľahlých banských diel. Pri použití hrádzí je potrebné splniť niektoré podmienky. Všetky hrádze musia odolávať hydrostatickým a hydrodynamickým javom podzemnej vody po zaplavení a hlavne odolávať tlaku od zásypového materiálu. Konštrukcia opornej hrádze, jej umiestnenie, spôsob zaistenia stability stĺpca nespevneného zásypového materiálu a voľba priepustnosti hrádze môže byť:

- priepustná,
- nepriepustná.

Z hľadiska statickej funkcie je možné zjednodušene hrádze rozdeliť na:

- tenkostenné konštrukcie,
- hrubostenné konštrukcie,
- blokové konštrukcie.

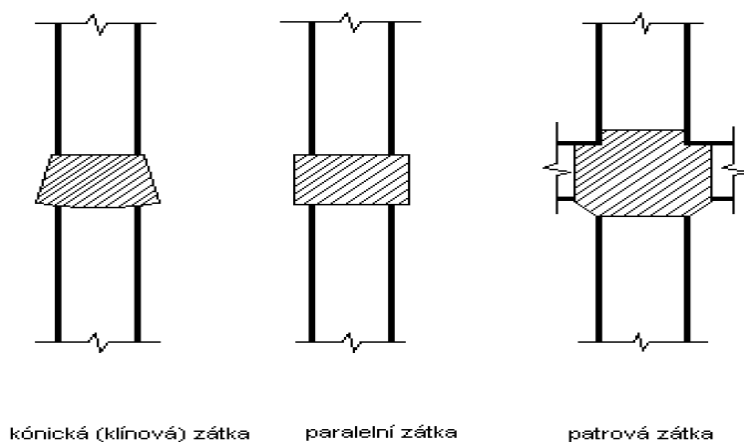
Tenkostenné a hrubostenné konštrukcie sú zhotovené z tuhých materiálov (betón, železobetón, murivo) a vyžadujú prevedenie špeciálnych úprav v horninovom masíve. Musia prenášať vysoké hodnoty kontaktných síl a šmykových namáhání a majú požiadavky na tuhosť horninového prostredia. Blokové konštrukcie sú výrazne menej náročné na kvalitu horninového prostredia, úpravy výstuže a priestoru za výstužou, injektáži a podobne. V prípadoch extrémneho tlaku na hrádzu (nad 10 MPa) je potrebné u blokových hrádzí vybudovať záseky do horninového masívu. Výhodou blokovej konštrukcie je, že môže byť

prevedená ako sendvičová konštrukcia rôznej tuhosti, čo výrazne zjednodušuje správanie hrádze v zmenách zaťaženia.

5.2.3 Jamová zátka

Jamovou zátkou sa rozumie objekt, ktorý rozdeľuje zásyp v jamovom stvole a jedná sa o výnimočné riešenie likvidácie banských diel. Ako materiál je použitý betón s výstužou, s minimálnou triedou betónu C 15/20. Zátka je používaná v prípade likvidácie, kedy sa spodná časť banského diela nebude zasypávať a bude využitá inak. Príkladom môže byť využitie jamovej zátky na jame Heřmanice č. 5, kedy je spodná časť využívaná ako degazačný zásobník plynu s regulačným systémom umožňujúcim komerčné využitie odvádzaných plynov. Tento spodok je však najnebezpečnejším spôsobom likvidácie, kedy môže dôjsť k vytvoreniu kaverien pod zátkou s možnosťou zrútenia celej jamovej zátky aj so zásypom nad ňou.

Podľa britských predpisov, kde sú často využívané, sú rozdelené podľa obrázka 9.



Obr. 9 Rozdelenie jamových zátok podľa britských predpisov (Zdroj: [10])

5.2.4 Ohlubňový povál

Ohlubňový povál je vrchná uzatváracia doska pri likvidovanej jame. Povál je navrhovaný s hrúbkou minimálne 450 mm a okrem toho musí prenieť minimálne 33 kPa pri rovnomernom zaťažení a musí byť uložený na betónovej ohlubni alebo na únosnom podloží. Ďalším vybavením poválu je potrubie pre kontrolu zásypu, potrubie pre odvod plynu a označenie s uvedením názvu jamy a dolu s ďalšími informáciami. V okolí ohlubňového poválu musí byť tiež zabezpečené okolie do vzdialenosti 2,5 m.

6. Poruchy a nehody banských diel

Zvislé jamy, u ktorých nebola po zásype prevádzaná pravidelná kontrola zásypu, môžu prispieť k nepriaznivým vplyvom na povrchu. Vplyvom sadnutia zásypového materiálu v jame dochádza tak k strate stability povrchu a jeho zrúteniu do telesa jamy spolu s okolitou výstavbou. Jeden z množstva príkladov je jama Hedvika v Petřvaldě. Závod Hedvika bol založený v roku 1872 a v rokoch 1974 – 1979 bolo v ochrannom jamovom pilieri vyťažených šesť slojí. V roku 1979 pri likvidácii došlo k vytvoreniu kráteru o priemere až 30 metrov, ktorý pohltil ťažnú vežu a vodnú nádrž.

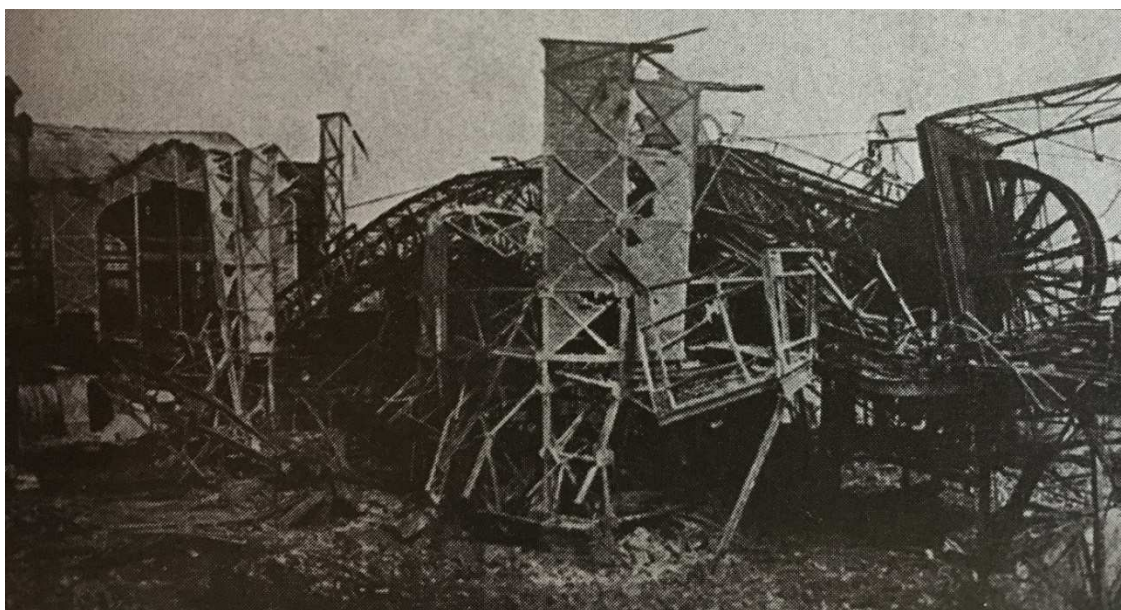
Ďalším príkladom je jama Jarošovka. Vplyvom zvýšenia odporu vody pretekajúcej Dědičnou štólou a zvýšenou hladinou vody o 1,8 m došlo k výtoku zásypového materiálu do priestoru Dědičnej štoly. Objasnenou príčinou havárie bol nekvalitný zásypový materiál. Zásypový materiál mal širokú škálu zrnitosti, čo v konečnom dôsledku viedlo k vyplaveniu jemných piesčitých a prachovitých zrn.

6.1 Dol Gabriela

Dol Gabriela v Karvinej bol založený v roku 1852 grófom Zdeňkem zo Žerotína, bol prvým najhlbším dolom v Karvinskej časti revíra. V priebehu životnosti bane došlo nielen k viacerým menším nehodám, ale aj k väčším. Jednou z nehôd bol výbuch plynu v roku 1856, pri ktorom prišlo o život 17 ľudí. O tri roky neskôr, v roku 1859, došlo k požiaru a vyhorelo všetko zariadenie na povrchu aj v jame. Baňa bola opustená a jej opätovné spustenie začalo až v roku 1864 arcivojvodom Albrechtom Rudolfom Rakúskym. Po skončení prvej svetovej vojny bol dol dokonca najväčším v rámci OKR. V dobe ďalšej nehody (1924) bola majiteľom Banská a hutná spoločnosť v Brne. Dol Gabriela mal viacero názvov: UNRRA, Mír, Velkodol, 1. máj a naposledy Dol Darkov podľa novej lokality hlavného závodu.

Nehoda, 11. 4. 1924, sa začala v ranných hodinách slabým výstupom dymu v porube. Z celej oblasti boli odvolaní pracovníci a banský úrad rozhodol o uzatvorení oblasti tromi hrádzami. Hrádze boli jeden meter hrubé z muriva, s predpokladom zosilnenia až na 2,5 m. Prvá explózia nastala o deň neskôr, rozmetala novo postavené hrádzce a celý priestor zamorila po-výbuchovými splodinami. V podzemí bolo počas výbuchu 537 pracovníkov, všetci sa dostali von až na 14 pracovníkov a jedného dozorcú, títo pracovali na zosilnení hrádzce a boli na mieste mŕtvi. V ten samý deň bolo rozhodnuté obnoviť porušené hrádzce. Ráno, 13.4., však

bolo namerané zvýšenie nebezpečných plynov vo výdušnom prúde, a u vetracej jame č. 2 bol zaznamenaný čierny dym. Po dohode s revírnym banským úradom, boli zastavené ventilátory v oboch vetracích jamách a použilo sa prirodzené vetranie. Pre záchranu západného poľa od východného bolo rozhodnuté vybudovať deväť hrádzí. Než však k tomu došlo, nastal veľký výbuch, ktorý bol zapríčinený rozvírením uhoľnému prachu. Výbuch spôsobil explóziu 35 metrov vysokej ťažnej veže a celej jamovej budovy. Dym dosahoval výšky 350 metrov a detonáciu bolo počuť až niekoľko kilometrov ďaleko. Jedna z ťažných kliebok bola vymrštená do vzdialenosti 100 m a vo vzdialenosti desiatok metrov boli zničené budovy kotolne, strojovne a triediarne. Horiace trosky doleteli až do vzdialenosti jedného kilometra od jamy. Na základe devastujúceho výbuchu bolo rozhodnuté, že všetkých päť jam bude uzavretých tesne pod ohlubňou. Do štyroch pracovných dní boli práce s uzatvorením hotové, spevádzalo ich ešte ďalších desať výbuchov. Hodinu po uzatvorení poslednej jamy došlo k ďalšiemu masívnemu výbuchu, našťastie poklopy vydržali. Celkový počet výbuchov tak dovŕšil až k 24. explóziám. Jamy boli následne naplnené plynom s minimálnym obsahom oxidu a vymedzením oxidu uhoľnatého. Následne nastala príprava asanácie podzemia.



Obr. 10 Ťažná veža jamy č. 2 po výbuchu (Zdroj: [13])

Nehoda na dole Gabriela priniesla mnoho nových poznatkov a skúseností, ako v záchranárstve, tak aj v protivýbuchovej prevencii. Prvýkrát bol v OKR uzatvorený celý dol utesňujúcimi poklopmi. Dovtedy sa takáto situácia riešila zaplavením alebo zasypaním jamy, poprípade uzatvorením jednej výdušnej jamy. Prvýkrát v OKR boli použité prepúšťacie

komory na povrchu. Zmenili sa záchranárske prístroje a postupy. Bolo vyhlásené banským županom v Brne, že zmes uhoľného a kamenného prachu nesmie presahovať viac než 40% (od roku 1935, 30%).

6.2 Dol Heřmanice

Dol Heřmanice, pôvodne dol Viktoria, bol založený v roku 1942 spoločnosťou Vítkovické horní a hutní těžířstvo. Najprv bola vybudovaná výdušná jama č. 3 a od marca 1943 ťažná veža č. 2. Pri dosiahnutí hĺbky 262,5 m sa vznietil požiar a zničil drevenú ťažnú vežu a prestalo sa s hĺbením. Po znárodnení v roku 1946 pre OKR sa s hĺbením pokračovalo a hĺbenie jamy bolo ukončené v roku 1952 pri dosiahnutí hĺbky 684 m. Dva roky na to bola postavená nad jamou atypická oceľová ťažná veža výšky 56 m.



Obr. 11 Dnešná pamiatka pripomínajúca kozlíkový tvar ťažnej veže Heřmanice (Zdroj: [19])

Dol niesol viacero názvov, bol založený ako dol Viktoria, neskôr premenovaný na dol Generalissimus Stalin II, Velkodůl Stalin a dol Rudý. Október roku 1956, došlo k odlúčeniu dolu Stalin I. a zo závodu Stalin II. bol vytvorený samostatný podnik. Ťažba uhlia na dole postupne klesala, v roku 1975 sa vyťažilo 734 tisíc ton a v roku 1989 len 558 tisíc ton. Na základe štátneho útlmového programu, tak bola ťažba na dole Heřmanice ukončená dňom 30.6. 1993. Likvidácia bane nastala v roku 1998.

Dňa 30. 6. 1998 počas likvidácie došlo k havárii, k vzplanutiu zmesi metanu a vzduchu vo výdušnej jame. Tlaková vlna poškodila tehelnú výplň jamovej budovy a príľahlé budovy hlavných banských ventilátorov. Všetky objekty, však boli v rámci likvidácie určené na demoláciu. K stratám na živote našťastie nedošlo. Jama bola zasypávaná kamennou drťou spolu s vpúšťaním oxidu uhličitého, ktorý v likvidovanej jame vytváral nehorľavú internú zmes.

V rámci likvidácie následkov po výbuchu, sa do jamy napúšťalo penidlo a pri dodržaní bezpečnostných opatrení bola rozobraná poškodená jamová budova pre prístup k vlastnej jame. Následne sa jama zasypávala cca sedemnástimi tisícmi ton zmesi popolčeka a výperkov. Posledných 133 m jamy bolo zasypaných 24 tisíc litrami penidla a cca 64 tisíc kilogramami oxidu uhličitého, kde sa dostalo na kótu 105 metrov pod povrchom. Pri kontrole nebol nameraný únik metánu. Dňa 9. 10. 1998 bola odstrelená aj kozlíková ťažná veža nad ťažnou jamou.

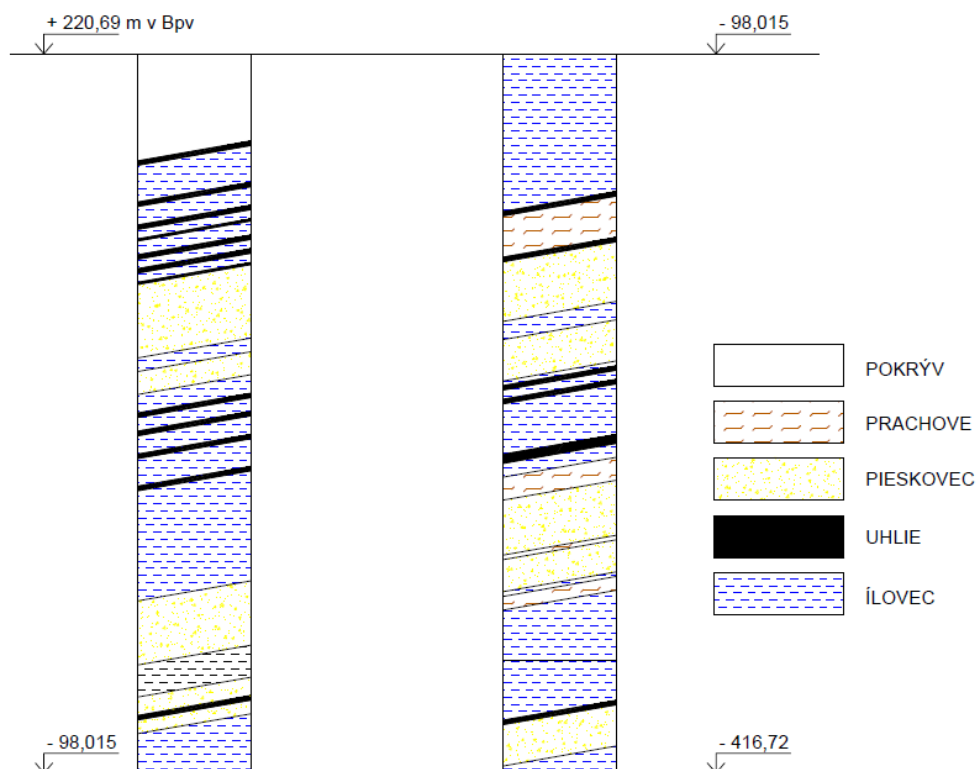
7. Posúdenie spôsobu likvidácie jamy a jej spoľahlivosti s využitím nespevneného zásyvu a s použitím auto-stabilizačných hrádzí (jama Jakub)

7.1 Úvodné informácie

Na základe rozhodnutia z roku 1992, vedenia a.s. OKD, prebehla likvidácia jamy Jakub v dobývacom priestore Slezská Ostrava I.

Baňa Jakub bola založená na Poľskej Ostrave – Zárubku v roku 1868 Severná dráha Ferdinandova. Baňa niesla názov podľa generálneho sekretára Severnej dráhy Ferdinanda Jakoba Jakobiho. Hĺbené boli súčasne dve centrálné jamy, ťažná a vetracia. Hĺbiace práce sťažovali veľké prítoky banských vôd, ktoré boli odvádzané do vodnej jamy Bane Hermenegild a zároveň boli budované vodotesné steny až do hĺbky 56 m. Výdušná jama Jakub 2 bola vybavená dvoma ventilátormi, hlavným Guibal a záložným Rittinger. Ťažná jama Jakub 1 bola vybavená pyramídovou ťažnou vežou v lineárnom usporiadaní. Ťažný stroj bol parný s výkonom 100 HP, ktorý vyrobili Salmove strojárne v Blansku.

Jamy Jakub 1 a 2 boli hĺbené osovo vo vzdialenosti 32,5 m, boli hĺbené prevažne cez jemnozrnné pieskovce, prachovce, ílovce v sklone cca 10°.



Obr. 12 Geologický profil jamy Jakub

Pravidelná ťažba uhlia začala až v roku 1872 z jakloveckých vrstiev ostravského súvrstvia. Boli dobývané spodné jaklovecké sloje až po najspodnejšiu sloj Adolf. Sloje naberali mocnosť od 40 až po 120 cm a uhlie bolo vhodné pre výrobu koksu alebo na kúrenie. V roku 1884 mala ťažná jama bane Jakub 1 hĺbku 168,9 m a výdušná 102,4 m. V roku 1897 ťažná jama dosahovala hĺbku 307 m a vetracia 195 m.

V rámci koncentrovanej ťažby Dolu Hermenedild bola ťažba bane Jakub v roku 1914 úplne zastavená a Jakub 1 prestavaná na vetraciu jamu. Dol Hermenedild bol premenovaný na Dol Zárubek a bane Jakub 1 a Jakub 2 slúžili ako jeho vetracie jamy, až do konca jeho ťažby v roku 1990, kedy po požiari skončila jeho existencia.

V roku 1928 boli jamy hlboké 293 m pre Jakub 2 a 384 m pre Jakub 1, ktorá bola prehĺbená až na hĺbku 643,6 m. Ďalšie prehĺbenie pomocou dvojice VPV Ø 1,2 m bolo realizované medzi 11. a 12. poschodím v dĺžke 71,5 m. Celková hĺbka jamy Jakub 1 tak mala v dobe likvidácie 724,25 m. Posledný prevozným strojom na ťažbu bol bubnový ťažný stroj s jednoetážovými kliebkami pre jeden banský vozík.

Jama Jakub 1 bola vyhlbená v súdkovitom priereze s tehelnou výstužou hrúbky cca 45 cm a to do hĺbky 381 m. Prehĺbenie jamy (po roku 1929) bolo prevedené v kruhovom priereze o svetlom priemere 3,9 m a vystuženie jamy bolo realizované tvárnicovou výstužou hrúbky cca 40 cm s betónovou zálievkou. Na jamový stvol sú napojené spojovacie kanály (jám Jakub 1 a Jakub 2), vybudované v tehelnom murive v kruhovom priereze o priemere 2,8 m. Prienik pošvy kanálu do jamového stvolu v hĺbke cca 4 m a vo vzdialenosti 2 m, bola v kanále vybudovaná tehelná stena o hrúbke cca 0,6 m a kanál bol v roku 1992 zlikvidovaný. Ďalej je na stvol napojená spoločná časť sacích kanálov k ventilátorom Kappel a Guibal. Kanál bol oddelený od jamového stvolu tehelnou stenou o hrúbke 0,6 m vybudovanou v prieniku kanála od jamy a kanály boli v roku 1992 zlikvidované.

Nečakané ukončenie ťažby a uzatvorenie na bani Zárubek, 15. 4. 1990, bolo v dôsledku požiaru, ktorý sa podaril zlikvidovať. Súčasne boli likvidované obe výdušné jamy bane Jakub a v roku 1992 zasypané. U každej zasypanej jamy zostal komín, ktorým sa odoberajú vzorky plynu.

7.2 Spôsob likvidácie jamy Jakub 1

K likvidácii jamy Jakub 1 došlo v roku 1992 (jún – september) v rámci štátneho útlmu v OKR. V dobe likvidácie bolo v jame 12 poschodí, z nich časť bola uzavretá v minulosti a nepodarilo sa získať bližšie informácie. Informácie získane z likvidácie sú z roku 1998. Prehľad o stave uzatvorenia poschodí udáva podkladový materiál podľa tabuľky 4.

Poschodia	Hĺbka [m]	Spôsob uzavretia poschodia
Ohlubeň	0,00	železobetónovým uzavretím ohlubňového povala
(1.)	68,61	uzavreté domurovaním výstuže
(2.)	101,47	uzavreté domurovaním výstuže
(4.); 1.	136,02	uzavreté domurovaním výstuže
(5.); 2.	164,94	uzavreté domurovaním výstuže
(6.)	192,26	uzavreté murovanými hrádzami vo vzdialenosti 2 m od prieniku
3.	244,49	zamurované v líci výstuže hrúbky cca 45 cm
4.	293,21	neuzatvorené, len oceľová mreža vo vzdialenosti 2 m od prieniku
5.	327,05	uzatvorené murovanou hrádzou vo vzdialenosti 12 m od prieniku
6.	376,44	nárazové krídlo uzatvorené murovanou hrádzou vo vzdialenosti 2 m od prieniku
		druhé krídlo tvorené žumpovým dielom dĺžky cca 5m
8.	440,70	nárazové krídlo uzatvorené murovanou hrádzou vo vzdialenosti 3 a 35 m od prieniku
9.	481,30	neuzatvorené
10.	566,90	uzatvorené murovanou hrádzou, neznáma vzdialenosť
11.	637,41	neuzatvorené
dno jamy	643,56	

Tab. 4 Prehľad o stave uzatvorenia poschodí

S ohľadom na časové, ekonomické a bezpečnostné aspekty technickej likvidácie bol navrhnutý na likvidáciu jamy nesúdržný materiál. Zásypový materiál sa skladal prevažne z drte z demolácie povrchových objektov šachty a z časti výperkov (cca. 10%). K zasypaniu bolo použitých 11 189 m³ zásypu, čo predstavovalo o 1 989 m³ viac v porovnaní s objemom jamy. Kvalita zásypového materiálu zodpovedala požiadavkám vyhlášky ČBÚ č. 52/1997 Sb. Zásypový materiál bol vpúšťaný do jamy cez oceľový rošt s okom do 250 mm. Priemerná objemová tiaž zásypového materiálu v prirodzenom stave je 18 kNm⁻³, priemerný uhol vnútorného trenia 36° a s pórovitosťou 0,3. Zásyp bol s vysokou priepustnosťou $k_f > 1 \cdot 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a neumožňuje tak zadržiavať vodu v zásype nad trvalou hladinou vody (predpoklad).

Hladinu podzemnej vody, môžeme dedukovať z údajov VJ Jeremenko, kde sa úroveň hladiny vody pohybuje na kóte -388,4 m n. m.. Vzhľadom k tomu, že nie je hydraulické

prepojenie medzi baňami Zárubek a Jeremenko a průdenie vody je sťažené a obmedzené hydraulickými prekážkami na podzemnej trase „Zárubek – P. Bezruč – Heřmanice – Odra – Hlubina – Jeremenko“, je pravdepodobné, že výška hladiny v jame Jakub môže byť o cca 20 – 40 m vyššie, to je -350 m n. m..

Jama bola uzatvorená železobetónovým povalom veľkosti 4,2 x 4,2 m, hrúbky 40 cm a v ňom bolo inštalované potrubie na odplynenie DN 100 a otvor na prípadné dosypávanie zásypového materiálu. Ohlubňový uzatvárací povál svojimi rozmermi nespĺňal požiadavky vyhlášky ČBU č. 52/1997 Sb. a č. 32/2000 Sb., ktorá uvádza hrúbku 45cm, a preto pri sanácií ho bolo potrebné vymeniť.

Príľahlé podpovrchové kanály spájajúce jamu so susednou jamou Jakub 1 a komorami ventilátorov, boli uzatvorené murovanými hrádzami hrúbky 60 cm a neboli zaplnené tesniacim materiálom (CPS, betón).

7.3 Popis havárie a jej analýzy

Dňa 26. 2. 2001 v čase o 17:30 hod. došlo na zlikvidovanej výdušnej jame Jakub 1 v dobývacom priestore Slezská Ostrava I k havárii.

Na zlikvidovanej jame Jakub 1 dňa 26. 2. 2001 došlo k nestabilite nesúdržného zásypu jamového stvolu. To viedlo k poklesu zásypu o 491 m pod úroveň povrchu jamy a výstupu veľkého množstva výbušných plynov na povrch, ktoré sa akumulovali v podzemí. Táto nestabilita zásypu a jeho pokles o 491 m bolo v OKR úplne nevídaným javom, a preto je potrebné ju uviesť a rozpísať možné teórie jej príčiny. Cieľom popisu havárie je predovšetkým formulovať predpoklady profesora Aldorfa a na ich základe navrhnúť realizačné opatrenia k spoľahlivej sanácii ďalších ohrozených jám.

Likvidácia jamy bola už popísaná v predchádzajúcej kapitole. Pre zhrnutie, na likvidáciu bol použitý nesúdržný materiál spolu s výperkami (cca 10%). Nesúdržný materiál bol získaný prevažne z likvidácie povrchových stavieb v okolí jamy, preto treba predpokladať aj nejaké percento dreva a oceľových častí. Získané materiály udávajú, že výpočtová hodnota objemu zasypanej jamy je 9 052 m³, ale skutočné množstvo použitého materiálu uvádza 11 189 m³. Overenie výpočtu som si previedol tiež sám a to nasledovne. Jama sa člení na 3 časti. Prvá je súdkového tvaru s plochou prierezu $A_1 = 14,3 \text{ m}^2$, prierez ide od úrovne 0 m až do 294 m. Druhá časť je tiež súdkového tvaru s plochou prierezu $A_2 = 16,7 \text{ m}^2$, v rozpätí od 294 m do 381 m. Poslednou časťou je kruhový prierez s plochou prierezu $A_3 = 11,9 \text{ m}^2$, od 381 m do 643,56 m.

Výpočet je teda nasledovný:

$$S = A_1 \cdot h_1 + A_2 \cdot h_2 + A_3 \cdot h_3 = 14,3.294 + 16,7.87 + 11,9.262,56 = 8782 \text{ m}^3$$

Podľa jednoduchého výpočtu je teda možné uviesť objem jamového stvolu 8782 m³. K tomuto objemu však treba rátať so zasypaním horizontálnych diel, podľa vzorca číslo 2, ako auto-stabilizačné zátky. Tento objem je rátaný na cca 432 m³. Netreba však zabudnúť na poslednú predĺženú časť a to 2 vrtov v priemere 1,2 m v dĺžke 71,5 m.

$$S = \pi \cdot r^2 \cdot 2 \cdot l = \pi \cdot 0,6^2 \cdot 2 \cdot 71,5 = 162 \text{ m}^3$$

Celkový objem likvidovanej jamy je teda podľa môjho výpočtu 9 376 m³, čo je o niečo viac podľa pôvodného výpočtu ale stále menej než 11 189 m³, čo vedie k prvej teórii, existoval skutočný zásyp v jame alebo došlo k vytvoreniu umelej zátky.

Počas likvidácií bola hladina podzemnej vody na úrovni medzi 11. a 10. poschodím, teda cca 590 m pod povrchom. Zásyp v jame bol teda na všetkých poschodiach medzi povrchom a 10. poschodím (spolu s 10.) odvodnený do banských priestorov a vysoká priepustnosť zásypu ($k_f > 1 \cdot 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) neumožňovala zadržiavať vodu v zásype a vznik jeho plného zavodnenia nad trvalú hladinu vody v jame. Odvodňovaciu funkciu malo tvoriť 4. a 9. poschodie, ktoré neboli uzatvorené.

Úroveň HPV v jame dňa 27. – 28.2.2001 bola nameraná v rozpätí 470 až 520 m pod povrchom, čo činilo o cca 110 až 160 m vyššie než bola úroveň v VJJ. Výstup na túto úroveň mohol byť tak zapríčinený len vytlačením vody pri poklese zásypu v jame a zníženou priepustnosťou hrádze na 10. poschodí, ktoré je uzatvorené popolkovou hrádzou.

Trvalé zvýšenie hladiny vody v jame o cca 120 m nie je z hydraulického hľadiska prípustné a pravdepodobné. Preto je treba v tejto súvislosti počítať s tým, že meranie hladiny podzemnej vody bolo prevedené tesne po havárii a necharakterizuje jej dynamiku.

Po havárii zásypu jamy boli učinené potrebné kroky k zaistieniu bezpečnosti ľudí, majetku a pripravovaný postup likvidácie havárie a obnovenie spoľahlivosti zásypu jamy. V rámci likvidácie havárie bolo uskutočnené meranie úrovne HPV a kontrola stavu jamy v úseku 0 – 200 m pomocou televíznej kamery. Výsledky týchto meraní a kontrol viedli k nasledujúcemu:

- HPV v okamžiku merania bola v hĺbke 480 m pod povrchom,
- hladina zásypu bola zaistená v hĺbke 491 m pod povrchom,
- stav výstuže v úseku 0 – 200 m je veľmi dobrý,
- v jame boli zachované 2 ťahy oceľového potrubia s miestom ukončenia cca 2. poschodie,

- do hĺbky 130 m je viditeľné, že hrádze poschodí nie sú poškodené. [3]

Na základe podstatnej informácie o hladine vody v zásype jamy a stave hrádzi, uviedol profesor Aldorf nasledovné možné varianty havárií [3]:

1. Jama bola v okamžiku uvoľnenia zásypu zaplnená len čiastočne a pád zásypu do vody v úrovni nad 11. poschodím spôsobil zvýšenie hladiny. Podľa výpočtu objemu zásypu a objemu vody v zásype mohlo dôjsť k jej vytlačeniu o 125 m nad pôvodnú hladinu v jame, čo by zodpovedalo nameranej hladine po havárii.
2. Jama bola zaplnená len čiastočne a zátka v jame nastala v mieste oceľového roštu, alebo v úseku pod 2. poschodím. Výpočtom profesora Aldorfa, sa k tejto teórii najviac prikláňa.
3. Zásypový materiál bol vytlačený do horizontálnych diel. Z videozáznamu, je však jasné, že do hĺbky 120 m neboli poškodené hrádze. Ďalej podľa výpočtu nepresiahol horizontálny tlak v suchom stvole cca 30 – 40 kPa, čím nebol hrádzový objekt porušený.

Z týchto predpokladov však ani jeden úplne nekorešponduje so situáciou, ktorá nastala na jame. Vznik pórového tlaku nemohol nastať kvôli veľkej priepustnosti zásypového materiálu ($k_f > 1 \cdot 10^2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) a preto sa tato príčina vylučuje. Hydrodynamický tlak vody pri náhlom poklese hladiny s maximálnym tlakom činil $\Delta h_w = 47 \text{ m}$, čo nepredstavovalo dostatočnú silu a veľkosť odplaveného zásypu do horizontálneho diela na 11. poschodí.

Jediné možné vysvetlenie dedukciou analýzy havárie na jame Jakub 1 môžeme zhrnúť takto: zásyp bol s najväčšou pravdepodobnosťou nevhodný, bez dôkladnej úpravy a dôkladnej kontroly. Dôsledkom toho došlo k vytvoreniu zátky, profesor Aldorf predpokladá v okolí 2. poschodia, a po vyhnutí drevených prvkov došlo k náhlému poklesu.

Môj predpoklad je, že iniciáciou tejto havárie bolo zavodenie zásypového materiálu v 11. poschodí, vplyvom čoho bol materiál vtlačený do horizontálneho diela na tomto poschodí. Na tomto poschodí sa dielo spádať cca po 30 metrov a pokračuje spádniciou v sklone 16° v dĺžke 300 m až na 12. poschodie jamy Jakub 1. Vplyvom čoho došlo k vytlačeniu vody až na úroveň 9. poschodia a následnému ďalšiemu vtlačeniu zavodneného zásypového materiálu do horizontálneho diela. Na základe odhadu z DIAMA bol určený prierez horizontálneho diela 28 m^2 , čo spolu s dĺžkou 300 m a priemerným zmenšovaním diela môže činiť cca $7\,000 \text{ m}^3$ čo zodpovedá množstvu ujdeneho zásypu.

Na základe tohto predpokladu riešim stabilitu hrádze vplyvom zatápania a jej stabilizáciu použitím injektáže so zachovaním jej priepustnosti.

8. Návrh stabilizačných opatrení k zaistieniu bezpečnosti a stability zásypu

8.1 Popis situácie

V predchádzajúcej kapitole rozoberám haváriu na jame Jakub, kde predpokladám zlyhanie hrádze v horizontálnom diele. To ma viedlo k návrhu zabezpečenia stability zásypu.

Stabilitu je možné riešiť buď na povrchu alebo v podzemí. Ak sa rieši stabilita ohlubňového povalu na povrchu, musí dodržiavať parametre z vyhlášky. V prípade ak je jama likvidovaná nespevneným zásypovým materiálom, ako na jame Jakub, treba uvažovať so sacou silou (vplyvom uniknutia zásypového stĺpca), ktorá môže vyvolať nestabilitu na povrchu. Tento problém je možné riešiť injektážou povrchu v okolí vyústenia jamy až na únosnú vrstvu. Celá táto nestabilita vzniká uniknutím zásypu, ktorý je zatlačovaný do horizontálnych diel a to vedie k stabilite v podzemí. V podzemí, respektíve v jame sú budované hrádze v horizontálnych dielach, ktoré zabraňujú uniknutiu jamového zásypu. Tento objem sa zväčšuje vplyvom pôsobenia horizontálnych síl a pri zavodenom zásypovom materiáli. Pri zatápaní dochádza k vystupovaniu banských vôd a k zvyšovaniu horizontálneho tlaku o hydrostatický tlak na vybudované hrádze. Hrádze budované v horizontálnych dielach sú väčšinou navrhované ako nepriepustné a nedostačujúce na zvýšený tlak vodného stĺpca, vplyvom čoho dôjde k porušeniu hrádze a vtlačeniu väčšieho množstva zásypového materiálu do horizontálneho diela. To vedie k sacím silám na ohlubňový povál a k jeho možnému porušeniu. Preto je podstatné riešiť situáciu už pri vzniku spevnením hrádze alebo vytvorením novej hrádze.

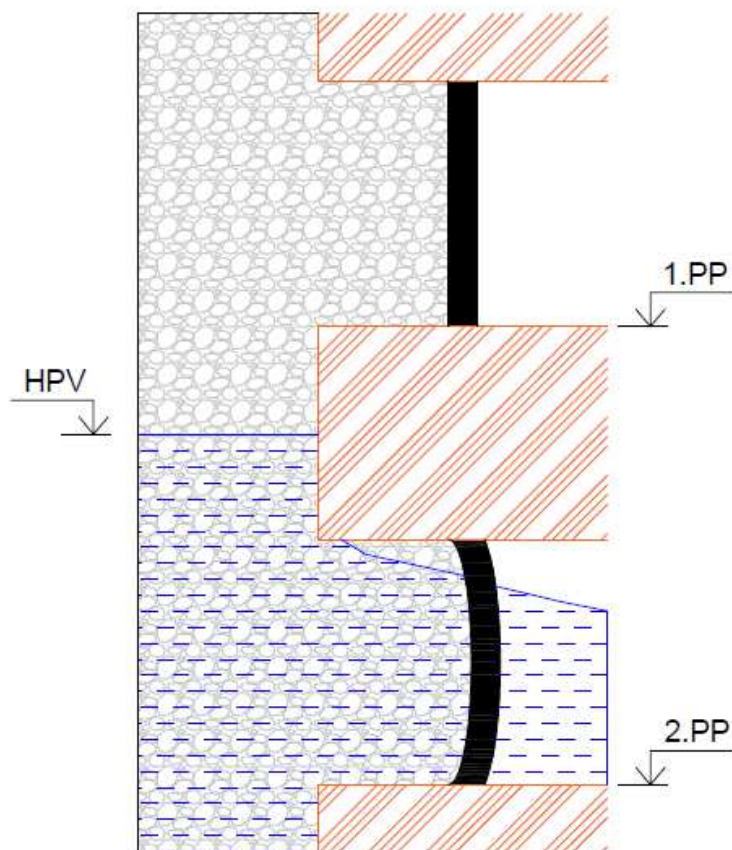
Návrh tejto hrádze vyplýva zo situácie, ktorá vznikla na jame Jakub, kde došlo vplyvom nestability a následného ujdania zásypu výstupu vody do jamového stvolu o cca 50m. Hrádzu navrhujem preto priepustnú, čo prispieva aj k rovnomernému zatápaniu ostravského bazéna a jeho problematike riešeného v kapitole 2.3. Situácia na jame Jakub je síce výnimočná, ale nie nereálna a podobné prejavy sa môžu objaviť aj na iných jamách ktoré sú likvidované nespevneným zásypovým materiálom.

Je potrebné dodať, že novo vybudovaná hrádza už v zlikvidovanom diele je zložitá otázka a jedná sa v podstate len o teóriu, ktorá predstavuje variantu A. Sanáciu už vybudovaných hrádzí alebo injektáž auto-stabilizačných zátok, varianta B, nie je možné v dnešnej dobe úplne garantovať. Aj pri možnom vyvrtaní cca nad 200 m, nie sme schopní pre-injektovať hrádzu

s požadovanou a garantovanou pevnosťou. Hrádzu je však reálne možné použiť pri ešte nezlikvidovaných dielach alebo v nožnej budúcnosti, kedy budeme mať na to prostriedky.

8.2 Návrh hrádze variant A

Hrádza bola navrhnutá a riešená na základe popísanej situácie na jame Jakub. Schopnosť hrádze je teda založená na udržaní nesúdržného zásypového materiálu v jamovom stvole tak, aby nebol zatlačený do horizontálneho diela. Zároveň hrádza musí byť schopná prepustiť vodu bez toho aby povolila. Ide o niečo ako membránu, ktorá sa vplyvom tlaku vodného stĺpca ohýba smerom od pôsobiaceho tlaku. Postupným prepúšťaním vody (2PP na obr.13) cez hrádzu tlak klesá a hrádza sa vracia do pôvodného stavu (1PP na obr.13).



Obr. 13 Znáozornenie ohybu hrádze pod tlakom vody a jeho prepúšťaniu

Hrádza tak v primárnom stave odoláva pôsobeniu zásypového materiálu v jame a v sekundárnom stave musí odolávať tlaku zásypového materiálu, ktorý je zavodený. Ide o

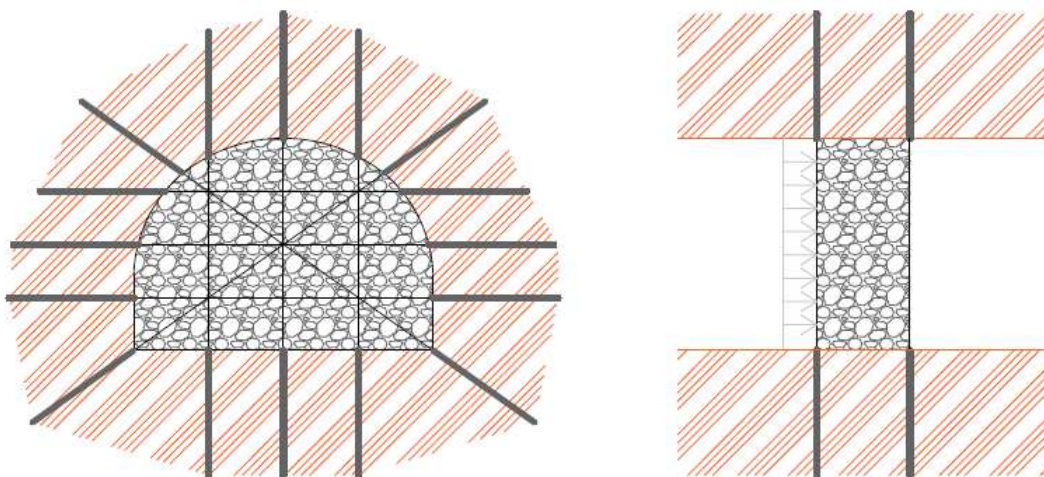
typ hrádze, ktorá počas zatápania ostravskej dielčej panvy odoláva pôsobeniu kolísania vody a dopomáha vyrovnávaniu ostravského bazénu. Po úplnom zatopení ostravskej dielčej panvy a vyrovnaní ostravského bazénu bude hrádza odolávať len tlaku zásypového materiálu, keďže voda bude na oboch stranách hrádzí.

Hrádza (Príloha č. 4) bola navrhnutá v spolupráci so spoločnosťou Minova s použitím ich chemických prvkov. Jedná sa o stavebný lomový kameň s priemerom zrna od 150 do 250 mm bez prísady ílovitých častí, ktorý je pre-injektovaný dvojzložkovou organicko-minerálnou živicom Geoflex BB (Príloha 1). Pri pre-injektovaní sa zvýši súdržnosť, uhol vnútorného trenia a mierne objemová hmotnosť. Toto navýšenie reprezentuje zlepenie kontaktov lomového kameňa syntetickou živicom. Z voľného zásypu sa tak vytvorí kompaktná „poloskalná hornina“ tzv. „geokompozit“ (Obr. 14).



Obr. 14 Pre-injektovaný lomový kameň

Pre zabránenie piestovému efektu, kedy by sa takto vybudovaná hrádza zatláčala postupne ďalej do horizontálneho diela vplyvom tlaku, boli navrhnuté horninové svorníky s tyčovými ťahadlami, ktoré sú na oboch koncoch zakotvené v hornine. Pre zjednodušenú predstavu sa jedná tzv. „pavučinová sieť“, ktorá je prevedená na oboch koncoch hrádze (Obr. 15). Takto vybudovaná sieť z tyčových ťahadiel tiež dopomáha dotvárať hrádzu do pôvodného stavu po prepustení vody a poklesu tlaku.

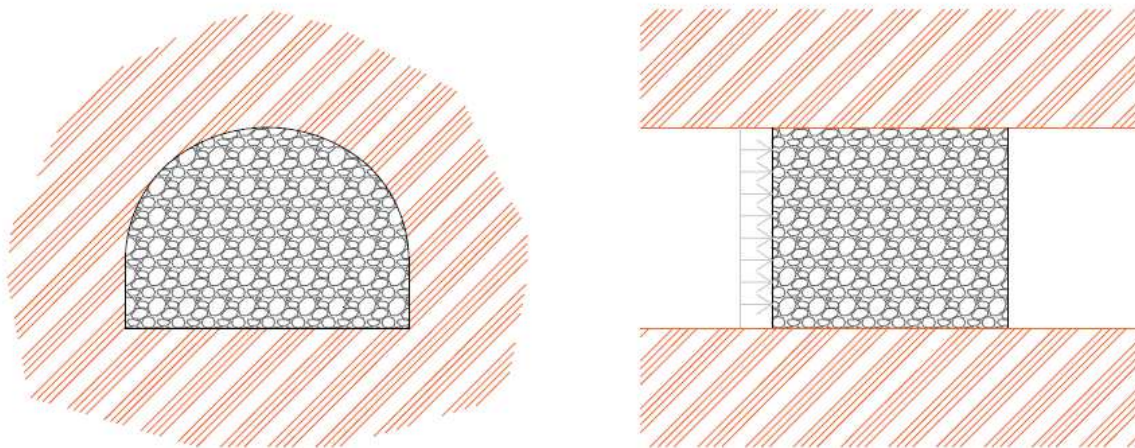


Obr. 15 Schéma hrádze variant A

8.3 Návrh hrádze variant B

Alternatíva varianty A je vytvorenie hrádze, ktorá predstavuje masívny blok (Príloha č.5). Tento typ hrádze má predpoklad vytvorenia aj pri zlikvidovaných dielach, pomocou pre-injektovania zatlačeného zásypového materiálu v horizontálnom diele z povrchu pomocou vrtov. Je to však len teoretický predpoklad, ktorý nie sme v dnešnej dobe schopní garantovať. Hrádzu je však možné vybudovať v novo likvidovanej jame.

Horizontálna hrádzka vybudovaná pri novo likvidovanej jame je obdobná variante A, ale bez použitia horninových svorníkov a tyčových ťahadiel na oboch stranách a pri použití hrubšej (dlhšej) hrádze (Obr. 15). Na zabránenie piestovému efektu, nie je tak použitý žiadny prvok, a zabráneniu tomuto efektu odoláva len samotný pre-injektovaný masív, ktorý prepúšťa vodu.



Obr. 16 Schéma hrádze variant B

8.4 Vhodnosť umiestnenia hrádze

Umiestnenie hrádze v horizontálnom diele je zvlášť dôležité. Na umiestnenie vzdialenosti od jamy je možné sa orientovať podľa vtlačaniu zásypového materiálu do horizontálneho diela. Pre jednoduché orientovanie vzdialenosti zatlačenia zásypového materiálu môžeme vychádzať z podmienky auto-stabilizačnej zátky s kapitoly 5.1.3. V takomto prípade v jame Jakub po doplnení do vzorca vychádza maximálna vzdialenosť:

$$l_z = \frac{4,8 \cdot \left[63 - \frac{3,4}{2} \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{36}{2} \right) \cdot 18 \right]}{18 \cdot \operatorname{tg} 18 \cdot \left[4,8 + 3,4 \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{36}{2} \right) \right]} = 7,95 \text{ m}$$

Vstupné dáta sú uvedené v tabuľke 5. Táto vzdialenosť však vymedzuje len oblasť, do ktorej sa dostane zásypový materiál počas likvidácie a odporúčenie pre maximálnu vzdialenosť uvádzam len pre minimalizovanie dosypávania zásypového materiálu po vystúpení HPV. Táto vzdialenosť bude väčšia vzhľadom k zavodeniu zásypového materiálu a určuje miesto, kde horizontálna hrádza stráca svoju podstatu, kvôli vytvoreniu auto-stabilizačnej zátky.

Ďalším vstupným parametrom pre vybudovanie hrádze je geológia a jej porušenie. Hornina v okolí jamového stvolu je rozrušená do určitej vzdialenosti vplyvom budovania jamy. Jamy boli budované ručne alebo trhačmi prácami a toto narušenie je niekoľko metrov, čo vstupuje do únosnosti horninových svorníkov. Taktiež horizontálne diela boli takto budované, a preto je pre výber miesta dôležité určiť miesto s najmenej porušenou horninou. Táto hornina musí samozrejme spĺňať aj podmienky pevnosti. Pre najlepšie umiestnenie vzhľadom na geológiu je potrebné samozrejme urobiť laboratórne skúšky a skúšky in situ, ktoré nie sú predmetom tejto práce.

Posledným parametrom pre vhodné umiestnenie hrádze je prierez diela. Budované horizontálne diela sa postupnou vzdialenosťou väčšinou zmenšovali, kvôli potrebe a náročnosti ťažby. Čiže prierezová plocha sa znižuje, čo vedie k menším tlakom na vybudovanú hrádzu a úspore materiálu. Treba však brať ohľad na dostatočný priestor pre vrtnú súpravu a súpravu na injektáž kameniva v hrádzi.

Toto sú tri základné podmienky, ktoré ovplyvňujú umiestnenie hrádze v horizontálnom diele. Môžeme vymenovať aj iné podmienky, napríklad tuhosť podložia, na ktorom bude hrádza budovaná, avšak sú už vzhľadom na umiestnenie zanedbateľné.

9. Tvorba a výpočet matematického modelu

Hlavným cieľom diplomovej práce je realizácia matematického modelu prostredníctvom softvérového systému Midas GTS NX, pracujúceho na základe konečných prvkov.

9.1 Midas GTS NX

Pre analýzu riešeného geotechnického problému bol využitý výpočtový systém GTS NX od spoločnosti MIDAS Information Technology (MIDAS IT). Tá sa od roku 1989 primárne zameriava na vývoj programov pre strojné inžinierstvo, pozemné a podzemné staviteľstvo.

Program Midas GTS NX je softvér ponúkajúci komplexné 2D a 3D analýzy metódou konečných prvkov aplikovateľných na širokú škálu geotechnických projektov, ako napríklad tunely, zárezy, výkopy, základy, dynamické a svahové analýzy stability, konsolidačné analýzy a ďalšie komplexné projekty.

9.2 Výpočet zaťaženia

Pred samotným začatím modelovania bolo treba určiť výpočtom zaťaženie pôsobiace na hrádzu v horizontálnom diele.

Pre výpočet zvislého a vodorovného zaťaženia, ktoré pôsobí na zásypový materiál, na dno jamy a hrádzové objekty v banskom diele, sa môže použiť tzv. teória síl zásobníkov. Táto teória vychádza z Jansenovej teórie a platí pre stav v klude naplneného zásobníka sypkým materiálom.

Pri sypaní zásypového materiálu do jamy vzniká zvislý tlak p_v (3):

$$p_v = \gamma \cdot h \text{ [Pa]} \quad (3)$$

Kde γ - objemová tiaž zásypového materiálu [$\text{N}\cdot\text{m}^{-3}$],
 h - hĺbka uloženého materiálu, v ktorom pôsobí zvislý tlak [m].

Zásypový materiál nemá žiadnu pevnosť v ťahu, takže má snahu roztláčať sa do strán, kde musí byť držaný pohromade stenami jamy. K tomu je potrebná vodorovná sila. Počiatočne sa táto sila stanoví zo zvislého tlaku p_v . Vynásobením súčiniteľa aktívneho tlaku náplne ω (4):

$$\omega = tg^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (4)$$

Kde φ - uhol vnútorného trenia [$^\circ$].

Čím je uhol vnútorného trenia zásypového materiálu menší, tým je väčšia horizontálna sila, ktorá musí udržať materiál pohromade.

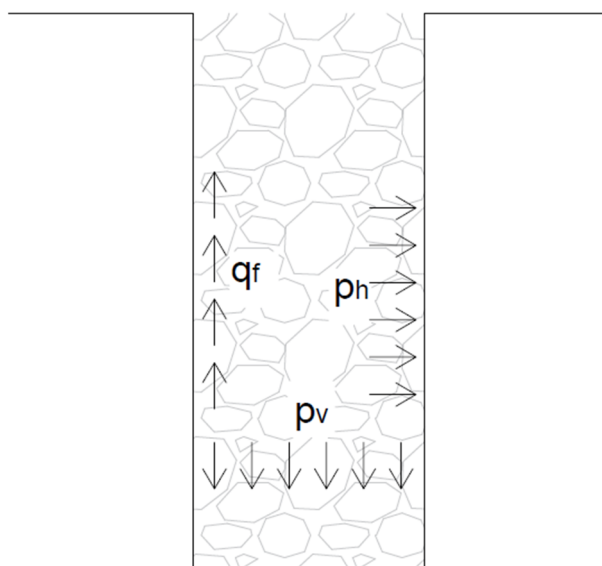
Pretože sa zásypový materiál v jamách pružne aj plasticky pretvára, dochádza pri zasypávaní jamy k jeho postupnému zhutňovaniu a k vertikálnym pohybom, spojených so vznikom trecích síl q_f na stenách. Trecia sila q_f sa vypočíta zo vzorca (5):

$$q_f = p_h \cdot \mu_f \text{ [Pa]} \quad (5)$$

Kde p_h - vodorovný tlak [Pa],

μ_f - súčiniteľ trenia zásypového materiálu o steny jamy [-].

Keďže trecie sily prenášajú časť hmotnosti náplne jamy priamo na steny, klesá hodnota zvislého tlaku a naopak stúpa vertikálne zaťaženie výstuže, čo môže viesť v nepriaznivých podmienkach k porušeniu stability. Uvedené sily podľa Jensenovej teórie sú zobrazené graficky na obr. 17.



Obr. 17 Pôsobiace sily v jame

Označenie ďalších parametrov v nasledujúcich rovniciach:

w	-	súčiniteľ aktívneho tlaku zásypového materiálu [-],
γ	-	objemová tiaž zásypového materiálu [N.m^{-3}].
R	-	hydraulický polomer [m], kde platí pre kruhový prierez jamy o priemere d vzťah $R = a/u$ kde: a – plocha vnútorného prierezu jamy [m^2] u – obvod prierezu jamy [m],
μ_f	-	súčiniteľ trenia zásypového materiálu o steny jamy [-],
h	-	hĺbka zasypanej časti jamy [m],
γ'	-	objemová tiaž materiálu za vztlaku vody [N.m^{-3}],
γ_s	-	objemová tiaž skeletu [N.m^{-3}],
n	-	pórovitosť [-].

Zaťaženie nezavodneného (suchého) zásypového materiálu

Pri výpočte zaťaženia nezavodneného materiálu vychádzame priamo z Jansenovho vzťahu pre zvislý (6) a vodorovný tlak (7) [10]:

$$p_v^n = \frac{1}{w} \cdot \frac{\gamma \cdot R}{\mu_f} \cdot \left(1 - e^{-w \cdot \mu \cdot \left(\frac{h}{R} \right)} \right) [\text{N.m}^{-2}] \quad (6)$$

$$p_{h_0}^n = \frac{\gamma \cdot R}{\mu_f} \cdot \left(1 - e^{-w \cdot \mu \cdot \left(\frac{h}{R} \right)} \right) [\text{N.m}^{-2}] \quad (7)$$

V oboch prípadoch tento tlak s hĺbkou stúpa a jeho maximum nastáva v hĺbke $h_{max} \cong \frac{5 \cdot R}{\mu \cdot w} \cong 35 \text{ m}$, kedy po tejto hĺbke je tento tlak u suchých nespevnených materiálov konštantný.

Zaťaženie zavodneného zásypového materiálu

Ak je zásypový materiál zaplavený vodou, je zvislý tlak väčší než hydrostatický tlak o mernú tiaž zaplaveného materiálu pod vztlakom vody. Zatiaľ čo zaťaženie vyvolané zásypovým materiálom vo výnose bude menšie než u suchého materiálu. Výpočet sa tak zmení pre zvislý (8) a vodorovný tlak (9) [10]:

$$p_v^n = \frac{1}{w} \cdot \frac{\gamma' \cdot R}{\mu} \cdot \left(1 - e^{-w \cdot \mu \cdot \left(\frac{h}{R}\right)}\right) [N \cdot m^{-2}] \quad (8)$$

$$p_{h_0}^n = \frac{\gamma' \cdot R}{\mu} \cdot \left(1 - e^{-w \cdot \mu \cdot \left(\frac{h}{R}\right)}\right) [N \cdot m^{-2}] \quad (9)$$

V danom prípade je v oboch rovniciach treba následné pripočítať tlak vodného stĺpca, ktorý predstavuje $p_w = 10 \cdot h$ [kN.m⁻²]. Je to potrebné, vzhľadom ku skutočnosti, že zavodený materiál nemá priaznivý efekt suchého materiálu a uvedený tlak sa so vzrastajúcou hĺbkou lineárne zväčšuje.

Pri výpočte zaťaženia na hrádzu v horizontálnom diele pôsobí teda len zaťaženie spôsobené vodorovným tlakom a zaťaženie zvislého tlaku odpadá. Tento tlak poslúžil len na prepočítanie správnosti horizontálnej sily.

Vstupné parametre zásypového materiálu sú zobrazené v tabuľke 5:

Charakteristiky			
Názov	Značenie	Hodnota	Jednotka
Objemová tiaž prirodzene vlhkej zeminy	γ	18	kNm ⁻³
Objemová tiaž zeminy pod HPV	γ_{su}	11,2	kNm ⁻³
Objemová tiaž plne saturovaná	γ_{sat}	21,2	kNm ⁻³
Úhol vnútorného trenia $\delta = 0,5 \cdot \phi$	δ	18	°
Pórovitosť	n	0,25	-
Uhol medzi zásypom a stenou	ϕ	36	°
Koeficient bočného tlaku $K_b = 1 - \sin \phi$	K_b	0,412	-

Tab. 5 Vstupné parametre zásypového materiálu

Výpočet vstupných parametrov do Jansenovho vzťahu:

Jama:

$\emptyset = 3,9$ m; Obvod: $u = 12,3$ m; Obsah: $a = 11,9$ m²

Hydraulický polomer:

$$R = \frac{a}{u} = \frac{11,9}{12,3} = 0,9675 \text{ m}$$

Súčiniteľ aktívneho tlaku:

$$w = tg^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) = tg^2 \left(45 - \frac{18}{2} \right) = 0,2596$$

Hĺbka:

$$h \cong \frac{5 \cdot R}{\mu \cdot w} \cong 35 \text{ m}$$

Výpočet zaťaženia podľa Jansenovho vzťahu v primárnom stave bez hladiny podzemnej vody:

$$p_{h_0}^n = \frac{\gamma \cdot R}{\mu} \cdot \left(1 - e^{-w \cdot \mu \cdot \left(\frac{h}{R} \right)} \right) = \frac{18,0,9675}{0,25} \cdot \left(1 - e^{-0,2596 \cdot 0,25 \cdot \left(\frac{35}{0,9675} \right)} \right) = 63 \text{ [N} \cdot \text{m}^{-2}]$$

Výpočet zaťaženia podľa Jansenovho vzťahu v sekundárnom stave s výstupom HPV riešim ako súčet primárneho vzťahu, to je zaťaženie, ktoré je nad hladinou vody a vodného stĺpca. Vodný stĺpce je rátaný pre zjednodušenie ako výška hladiny vody nad hrádzou v horizontálnom diele, vynásobením objemovej tiaže zeminy plne saturovanej a koeficientom bočného tlaku. Na vodu nepôsobí trenie, tak pri zjednodušenom a kritickejšom stave neuvažujem s trením zavodneného zásypového materiálu. Vzhľadom k zavodneniu zásypového materiálu uvažujem tiež s degradáciou tohto materiálu a znížil som uhol vnútorného trenia z 36° na 26° čo činí cca 70% zníženia.

Výpočet zaťaženia v sekundárnom stave s výstupom HPV:

Zásypový materiál nad HPV:

$$p_{h_0}^n = \frac{\gamma \cdot R}{\mu} \cdot \left(1 - e^{-w \cdot \mu \cdot \left(\frac{h}{R} \right)} \right) = \frac{18,0,9675}{0,25} \cdot \left(1 - e^{-0,2596 \cdot 0,25 \cdot \left(\frac{35}{0,9675} \right)} \right) = 63 \text{ kNm}^{-2}$$

Zásypový materiál pod HPV:

Výška vodného stĺpca $h = 50 \text{ m}$

$$p_{h_1}^n = h \cdot \gamma_{sat} \cdot tg^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) = 50 \cdot 21,2 \cdot tg^2 \left(45 - \frac{26}{2} \right) = 413,89 \text{ kNm}^{-2}$$

Tlak vodného stĺpca $h = 50 \text{ m}$

$$p_{h_2}^n = h \cdot \gamma_w = 50 \cdot 10 = 500 \text{ kNm}^{-2}$$

Na základe väčšieho zaťaženia z vodného stĺpca podľa Jansena uvažujem s jeho zaťažením namiesto zaťaženia zásypového materiálu pod HPV.

Spolu:

$$p_h^n = p_{h_0}^n \cdot p_{h_2}^n = 63 + 500 = 563 \text{ kNm}^{-2}$$

V záverečnej fáze nastáva stav, kedy sa ostravský bazén vyrovná do predpokladaného stavu a hladina vody bude na oboch stranách hrádze rovnaká a pôsobiť na hrádzu bude len zaťaženie zásypu pod hladinou podzemnej vody, ktorá bude nadľahčovaná.

$$p_{h_0}^n = \frac{\gamma_{su} \cdot R}{\mu} \cdot \left(1 - e^{-w \cdot \mu \cdot \left(\frac{h}{R}\right)}\right) = \frac{11,2 \cdot 0,9675}{0,25} \cdot \left(1 - e^{-0,2596 \cdot 0,25 \cdot \left(\frac{35}{0,9675}\right)}\right) = 39,2 \text{ kNm}^{-2}$$

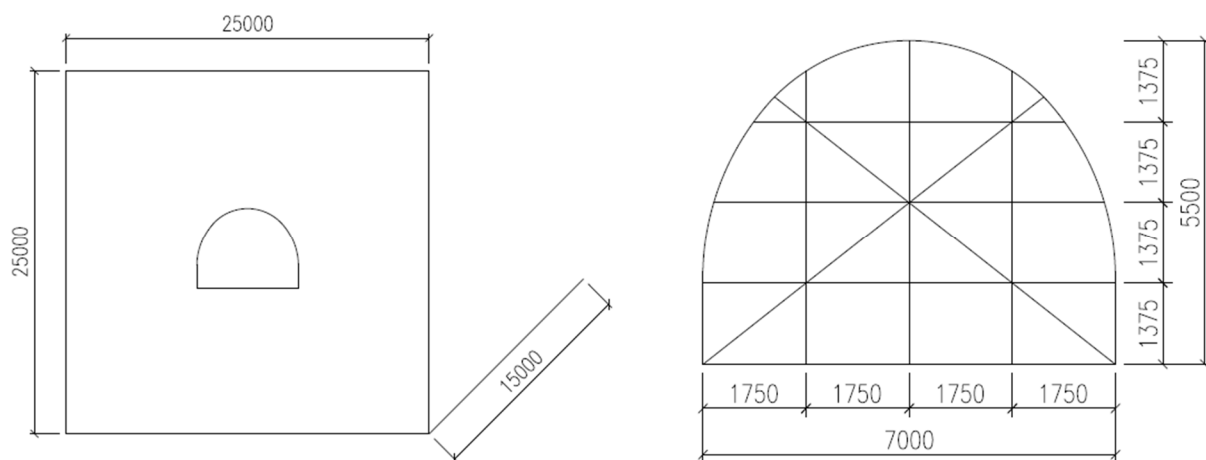
Zaťaženie je teda nasledovné:

Fáza	Zaťaženie
I.	63 kNm ⁻²
II.	563 kNm ⁻²
III.	39,2 kNm ⁻²

Tab. 6 Zaťaženia v jednotlivých fázach

9.3 Model

Pred tvorbou samotného modelu bolo potrebné určiť rozsah modelu tak, aby nedochádzalo k ovplyvňovaniu výsledkov výpočtov okrajovými podmienkami úlohy. Rozsah modelu je znázornený na obrázku 18 vľavo a rozmery hrádze s tyčovými ťahadlami vpravo.



Obr. 18 Rozmery modelu a hrádze

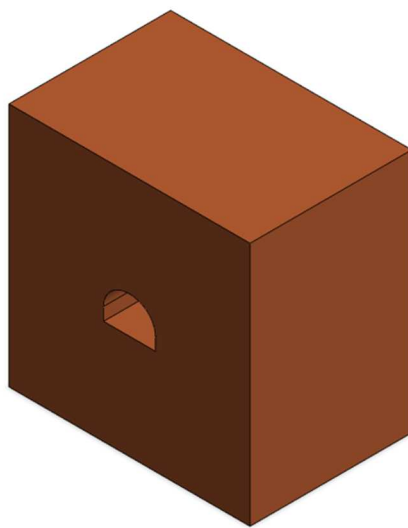
9.4 Tvorba modelu

Model bol vytvorený na začiatku v program Autocad 2016 v 2D podľa predchádzajúceho obrázku a následne vyexportovaný z formátu DXF do programu MIDAS GTS NX, kde sa dal do formátu 3D. Tvorba modelu bola v nasledovných 11 bodoch pre variantu B okrem bodu 4.

Postup bol nasledovný :

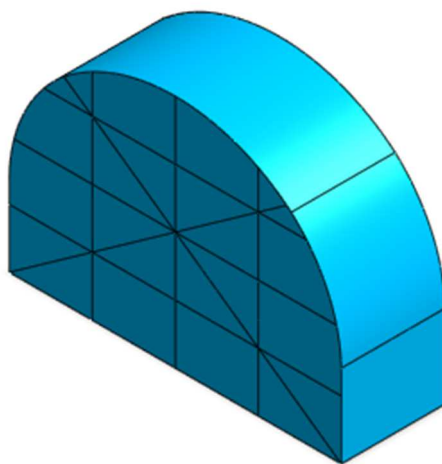
1. Tvorba masívu
2. Tvorba horizontálneho diela
3. Vytvorenie hrádze
4. Vytvorenie siete z tyčových ťahadiel na oboch stranách hrádze
5. Kontrola spojitosti
6. Vytvorenie materiálu / zatriedenie (property) materiálu
7. Vytvorenie siete a jej zjemnenie
8. Definovanie okrajových podmienok
9. Priradenie vlastnej tiaže (gravitácia)
10. Vnesenie zaťaženia
11. Definícia fázy výpočtu / Definovanie výpočtu (nonlinear static)

Ad. 1. – 2. Masív bol vytvorený z implementovaného súboru Autocad v 2D, pretiahnutím plochy v smere osy Y o dĺžku 15 m. V tomto masíve bolo vytvorené horizontálne dielo, ktoré bolo tiež vytvorené z 2D do 3D pretiahnutím plochy a následne prienikom dvoch objektov sa vytvoril horninový masív na obrázku 19.



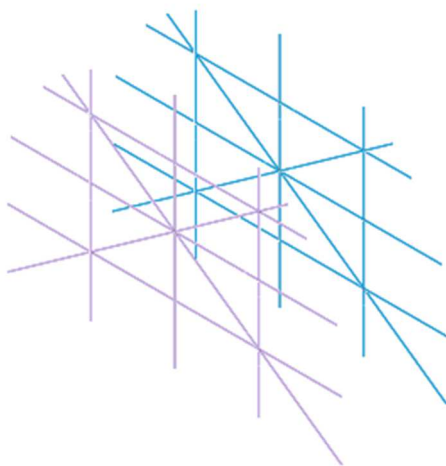
Obr. 19 Horninový masív

Ad. 3. Uprostred horninového masívu bola vytvorená hrádza, tiež z 2D do 3D orezaním objektu na požadovanú hrúbku hrádze, variant A na 1,5 m a variant B na 4 m. Na túto hrádzu bol obtlačený (inprintovaný) súbor z programu Autocad, ktorý predstavoval budúcu sieť tyčových ťahadiel (len v prípade varianty A). Tento postup bol prevedený aj na druhej strane hrádze.



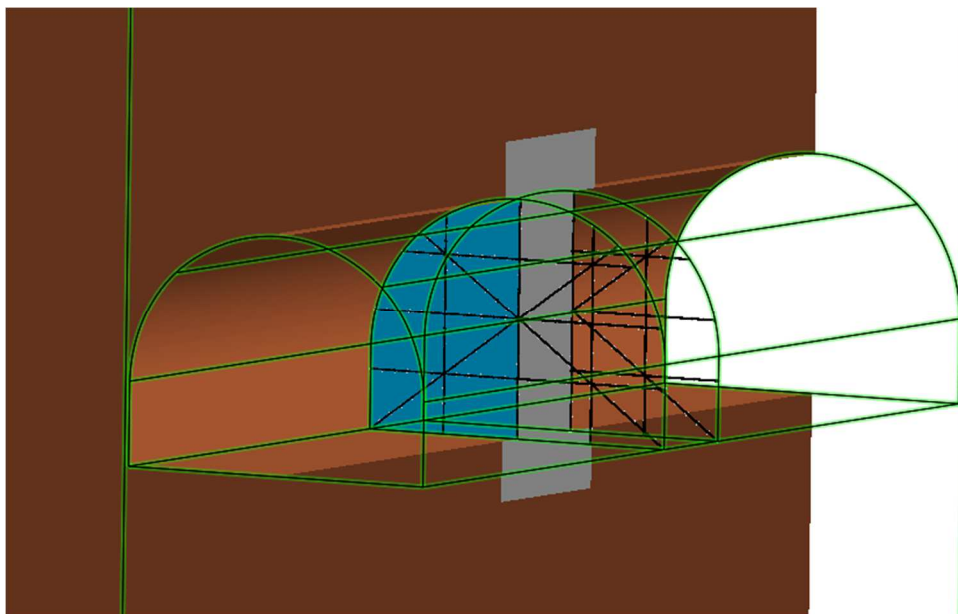
Obr. 20 Hrádza

Ad. 4. Na túto obtlačenú časť hrádze boli vytvorené 1D prvky, ktoré predstavujú tyčové ťahadla na oboch stranách hrádze s priemerom 36 mm (Obr.21). Obtlačenie na hrádzu bolo nutné pre spolupôsobenie prvkov a vytvorenie siete v nasledujúcich krokoch.



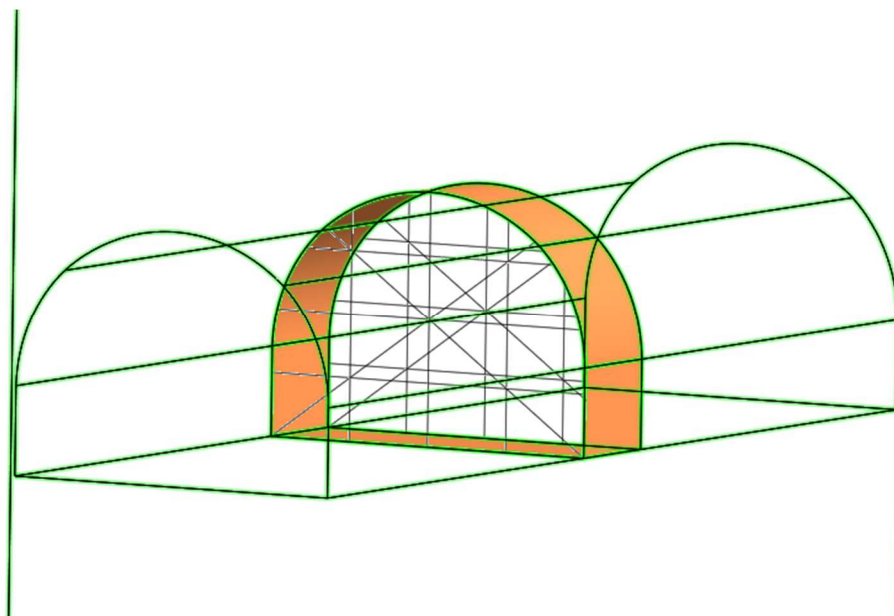
Obr. 21 Sieť tyčových ťahadiel

Výsledkom bol základný model pre výpočet na obrázku 22.



Obr. 22 Model

Ad. 5. Pred tvorbou siete a pre správnosť výpočtu musí hrádza spolupôsobiť s horninovým masívom a preto bolo potrebné uskutočniť kontrolu spojitosti objektov (Check duplicate), znázornená na obrázku 23.



Obr. 23 Kontrola spojitosti

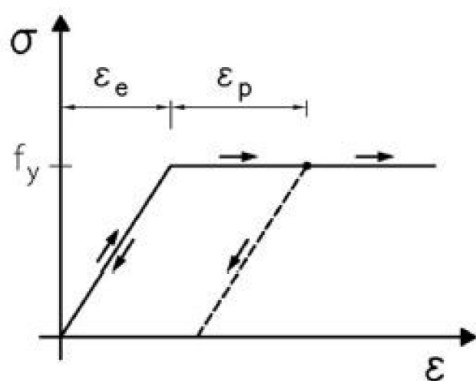
Ad. 6. Vytvorený materiál bol pre horninový masív, hrádzu a ťahadlá. Každý z nich bol iného modelu. Horninový masív (pieskovec) je typu Mohr-Coulomb, hrádza (kamenivo) je typu Soft Soil Creep a pre tyčové ťahadlá je použitý elastický model.

Mohr-Coulombov model

Mohr-Coulombo pružný, ideálne plastický model sa využíva v geotechnickej praxi na modelovanie zeminy a horninového prostredia nakoľko popisuje vlastnosti na základe piatich charakteristík:

- Youngov modul pružnosti,
- Poissonovo číslo,
- súdržnosť,
- uhol vnútorného trenia,
- uhol dilatácie. [1]

Predpokladá lineárne pružné chovanie až po dosiahnutie medze plasticity, pričom pred jej dosiahnutím dochádza k vratným deformáciám a po jej prekročení prebiehajú plastické deformácie pri konštantnom napätí.



Obr. 24 Mohr-Coulombov model (Zdroj: [1])

Na základe toho bol použitý model pre horninový masív tvorený z pieskovca s materiálovými charakteristikami v tabuľke 7. Nakoľko materiálové charakteristiky sa nedali nájsť, s výnimkou typu horniny z geologického profilu, boli tieto charakteristiky upravené tak, aby masív bol stabilný, tzn. neovplyvňoval hrádzu v modeli. Stabilita masívu sa predpokladá na základe toho, že horizontálne dielo bolo počas likvidácie bez známky nestability.

Charakteristiky			
Názov	Značenie	Hodnota	Jednotka
Objemová tiaž prirodzene vlhkej zeminy	γ	25	kNm^{-3}
Poissonovo číslo	μ	0,3	-
Elastický modul	E	15000	MNm^{-2}
Súdržnosť	c	3000	kNm^{-2}
Uhol vnútorného trenia	φ	48	°
Uhol dilatácie	α_d	36	°

Tab. 7 Materiálové charakteristiky horninového masívu

Soft Soil Creep model

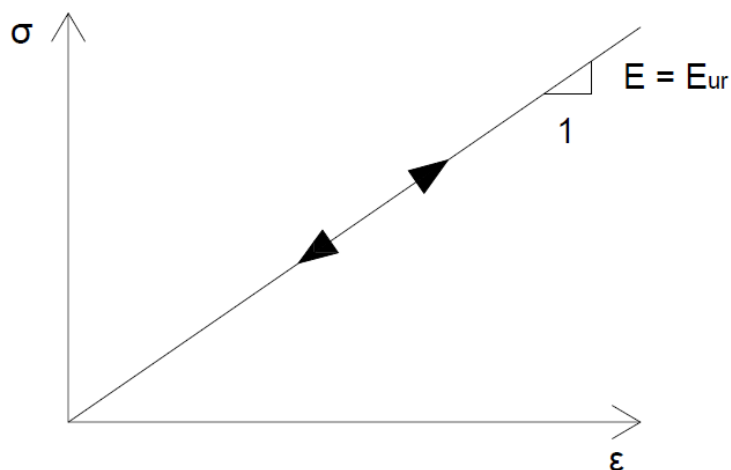
Soft Soil Creep model je používaný pre zeminy a horniny, ktoré sú priepustné vodou ako v prípade lomového kameňa použitého na hrádzu. Model Soft Creep rozlišuje medzi primárnym zaťažením a opätovným zaťažovaním, je podobný modelu Hardening Soil and Soft Soil. Základnými charakteristikami tohto modelu je tuhosť závislá na napätí, možnosť modelovania vplyvov pre konsolidácie a creepu. Tento materiál bol priradený hrádzi tvorenej z lomového kameňa s materiálovými charakteristikami v tabuľke 8. Toto kamenivo má upravené materiálové charakteristiky na základe pre-injektovania živicovou injektážou (Príloha č.1), ktorá ovplyvnila objemovú tiaž, uhol vnútorného trenia a súdržnosť.

Charakteristiky			
Názov	Značenie	Hodnota	Jednotka
Objemová tiaž	γ	22,6	kNm^{-3}
Poissonovo číslo	μ	0,2	-
Elastický modul	E	19,125	MNm^{-2}
Súdržnosť	c	230	kNm^{-2}
Uhol vnútorného trenia	φ	52	°

Tab. 8 Materiálové charakteristiky pre-injektovaného kameniva

Elastický model

V geotechnickej praxi sa elastický model využíva najčastejšie na modelovanie betónových a železných prvkov. Elastický model je lineárny model a je základný materiálový model, ktorý používa prevodné vzťahy medzi napätím a pretvorením daným Hookovým zákonom. V prípade jednoosej napätosti vyjadruje Hookov zákon vzťah medzi napätím σ a pretvorením ε pomocou Youngovho modulu pružnosti E (Obr. 25).



Obr. 25 Hookov zákon

Závislosť Hookovho zákona od Youngovho modulu pružnosti a Poissonovho čísla spôsobuje viaceré nedostatky, napríklad:

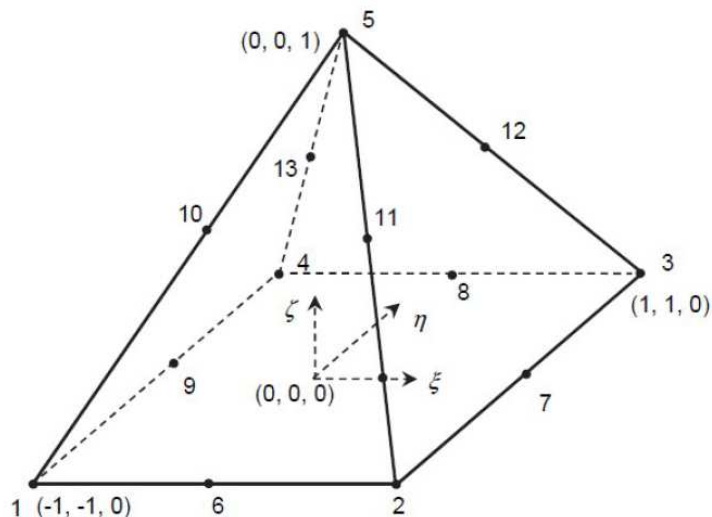
- nepopisuje presné správanie materiálov, najmä pri veľkých pretvoreniach,
- identický modul pružnosti pri zaťažení aj pri odľahčení,
- tuhosť pri pretvorení nie je zohľadnená,
- nezohľadňuje nelineárne správanie ani vplyv pórovitosti. [1]

Na základe Elastického modelu vstupujú do výpočtu dáta z tabuľky 9.

Charakteristiky			
Názov	Značenie	Hodnota	Jednotka
Objemová tiaž	γ	74	kNm^{-3}
Poissonovo číslo	μ	0,27	-
Elastický modul	E	210	GNm^{-2}

Tab. 9 Materiálové charakteristiky ocelových ťahadiel

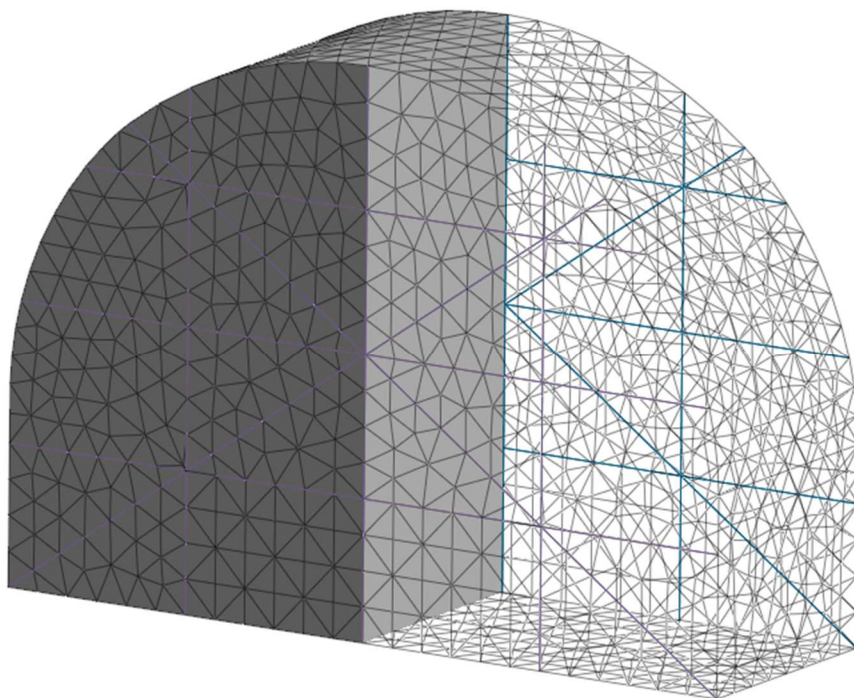
Ad. 7. Pred výpočtom MKP (metóda konečných prvkov), je potrebné vytvoriť sieť. Jedná sa o rozdelenie kontinua na konečný počet oblastí, konečných prvkov, respektíve elementov navzájom spojených pomocou uzlov na ich hranici (Obr. 26).



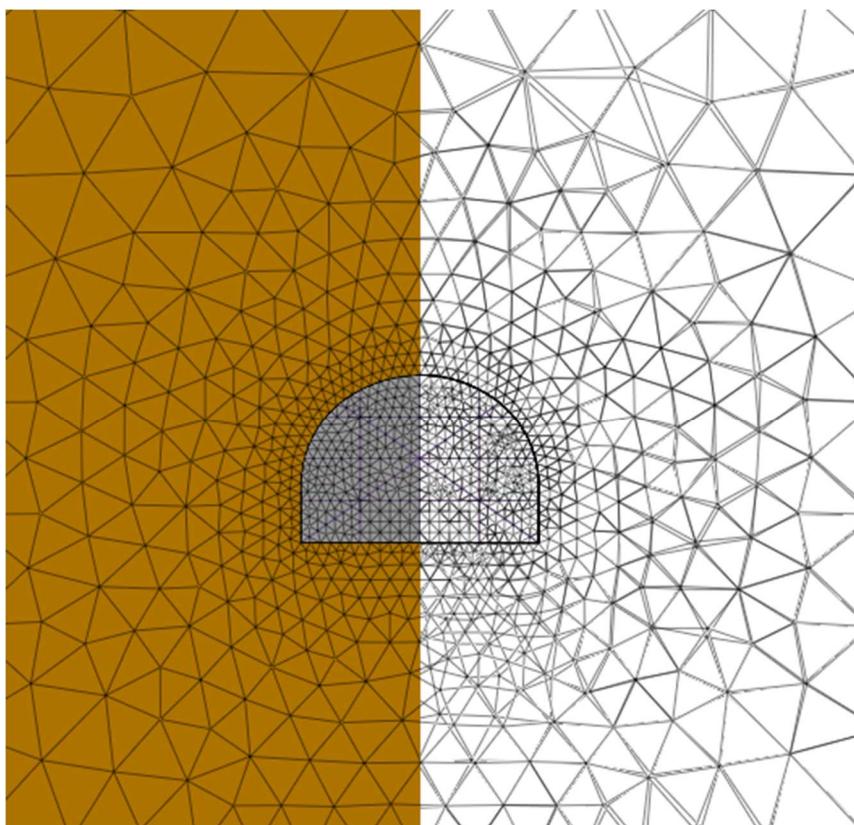
Obr. 26 13uzlový štvorboký ihlan (Zdroj: [8])

Pre tento účel má Midas GTS NX funkciu automatického generovania siete konečných prvkov z geometrie. Na výber je vytvorenie siete 2D a 3D elementov. Pre tvorbu 3D elementov sú tetra prvky a hybridné prvky. Typ tetra vytvorí sieť konečných prvkov zložených z rovnostranných trojuholníkových štvorstenov. Vytvorenie týchto prvkov trvá kratšiu dobu, výpočty majú o niečo vyššiu presnosť, avšak trvanie výpočtu trvá dlhší čas.

Pre účel diplomovej práce bol zvolený prístup použitia trojuholníkovej siete, ale pred samotným generovaním siete bolo nutné zvážiť požadovanú hustotu siete. Je však potrebné brať ohľad na to, že väčšia hustota siete vedie k podstatnému predlžovaniu doby výpočtu. Z týchto dôvodov bola sieť na niektorých prvkoch zhustená a na niektorých rozšírená. V miestach s najväčšími očakávaniami deformácií bolo preto potrebné sieť „zjemniť“. Z tohto dôvodu bola sieť na povrchu hrádze, na tyčových ťahadlách a v okolí hrádze určená na veľkosť 0,2 m, je znázornená na obrázku 27. Vo väčšej vzdialenosti a v miestach, kde je predpoklad, že deformácia stráca význam, bola sieť automaticky generovaná na väčší elementárny prvok, ako v prípade horninového masívu (Obr. 28).

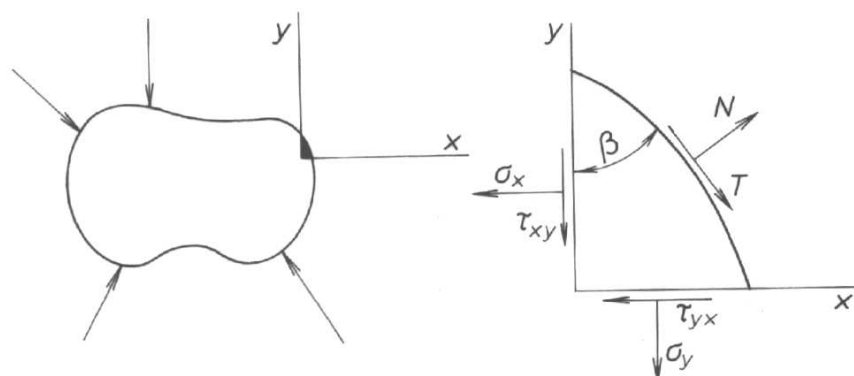


Obr. 27 Sieť na hrádzi



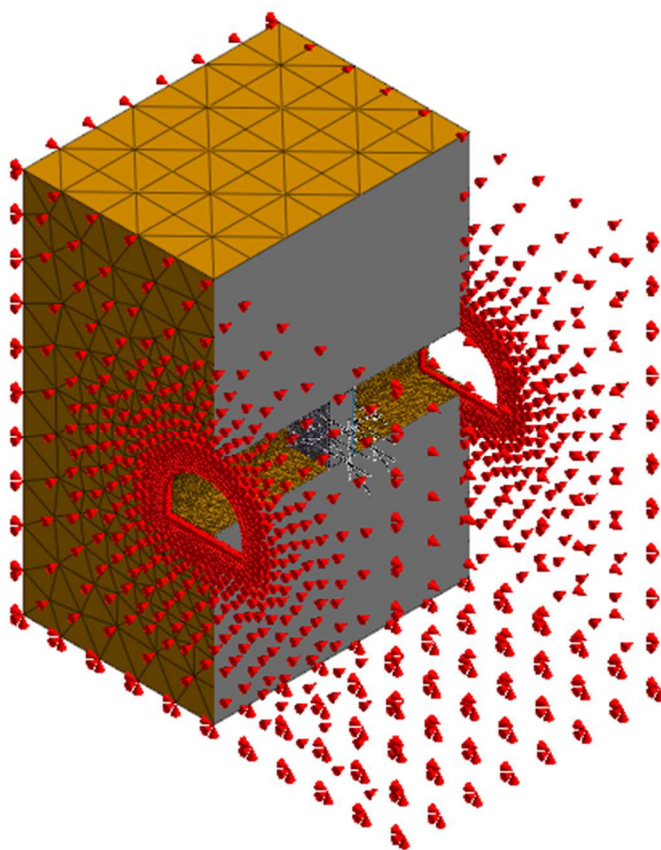
Obr. 28 Sieť v horninovom masíve

Ad. 8. V celom rozsahu modelu sa mení normálové a šmykové napätie od bodu k bodu a preto je potrebné definovať tzv. okrajové podmienky. Tieto okrajové podmienky zaisťujú rovnosť vnútorných (σ , τ) a vonkajších síl (N , T) (Obr. 29).



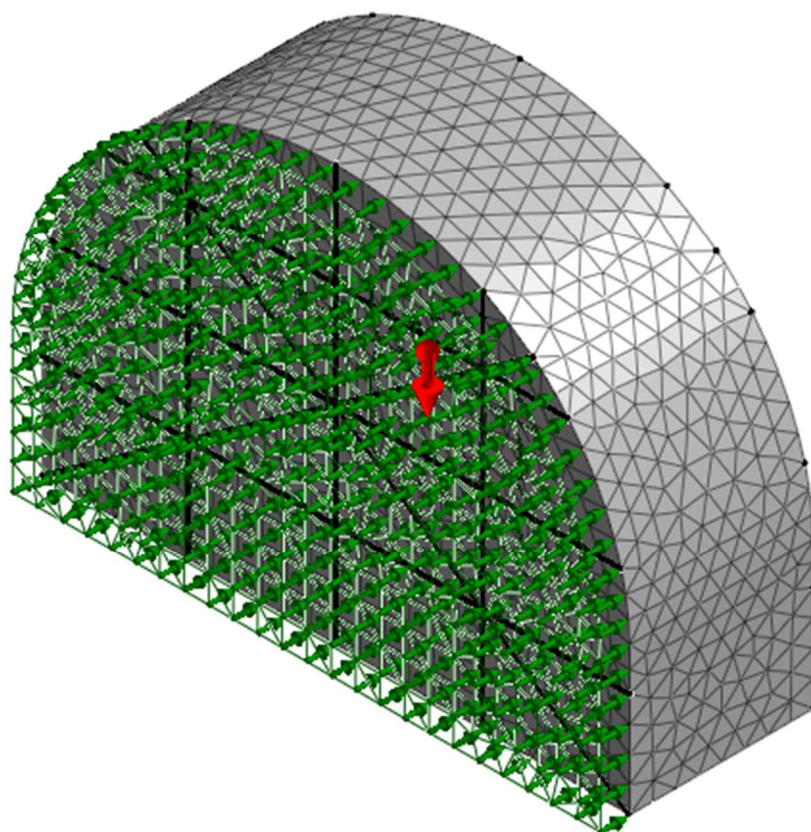
Obr. 29 Okrajové podmienky (Zdroj: [1])

Na tvorbu modelu bola použitá okrajová podmienka tzv. tuhá vaňa znázornená na obrázku 29, ktorá bola automaticky vygenerovaná.



Obr. 30 Okrajové podmienky

Ad. 9. – 10. Vnesenie zaťaženia bolo prevedené v dvoch krokoch, v prvom kroku bolo priradenie vlastnej tiaže (gravity) a v druhom kroku bolo pridané zaťaženie v postupných krokoch zaťažovania podľa výpočtu z kapitoly 9.2. Na obrázku 31 je červenou šípkou vyznačená gravitácia a zelenými šípkami rovnomerné zaťaženie v každom bode uzla.



Obr. 31 Vnesenie gravitácie a zaťaženia

Ad. 11. Nastavenie fázy bolo uskutočnené postupným aktivovaním väčšieho zaťaženia podľa výpočtu zaťaženia. V prvej fáze bolo aktivované zaťaženie primárne od zásypového materiálu, v druhej fáze zaťaženie od vodného stĺpca v jamovom stvole a poslednou fázou boli deaktivované pôvodné zaťaženia a vnesenie nového zaťaženia po vyrovnaní hladín.

V programe Midas GST NX je možné previesť niekoľko typov výpočtov. Pre výpočet zaťaženia na hrádzu bol zvolený typ *Nonlinear static*.

10. Vyhodnotenie výsledkov

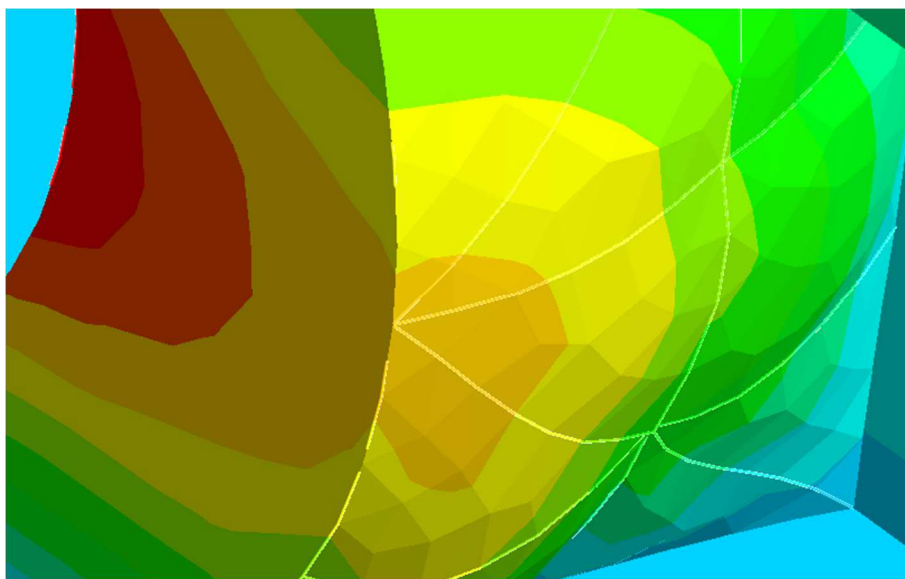
Analýza programu Midas GTS NX poskytuje veľké množstvo údajov, no pre účely diplomovej práce boli zhodnotené napäťovo-deformačné stavy hrádze a vnútorné sily pôsobiace v ťahadlách. Vyhodnotená je fáza pri zatápaní (2. fáza), ktorá je z tohto pohľadu najrizikovejšia a predstavuje stav, kedy voda v jamovom stvole môže dosiahnuť kritickú výšku.

10.1 Varianta A

10.1.1 Hrádza

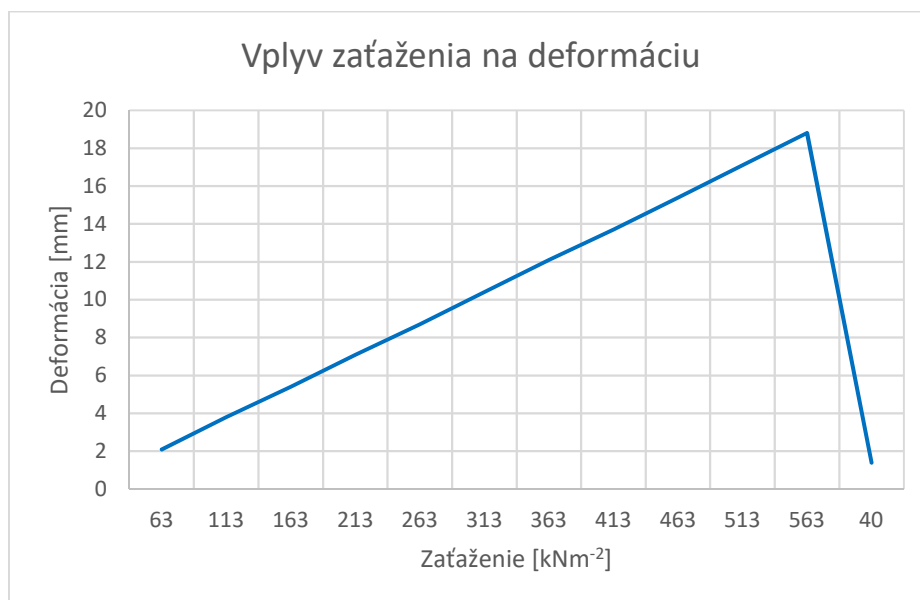
Vykreslenie celkového posunu, respektíve deformácie hrádze, umožňuje získať dobrú predstavu o správaní sa hrádze počas zatápania Ostravskej dielčej panvy. Deformácia hrádze je tak sprevádzaná počiatočnou deformáciou od zásypového materiálu, cez pôsobenie vodného stĺpca až po jej úplne zatopenie a vyrovnanie hladiny vody, kde opäť pôsobí zásypový materiál, ktorý je ale nadľahčovaný vodou (len efektívne napätie).

Maximálne deformácie tak dosahujú hodnotu 18,8 mm a to v predpokladanej oblasti hrádze, uprostred. Najmenšia deformácie sú dosiahnuté po obvodu hrádze, kde sa nepredpokladá s posunom, vďaka tyčovým ťahadlám, ktoré udržujú hrádzu na pôvodnom mieste a dochádza len k vratným deformáciám.



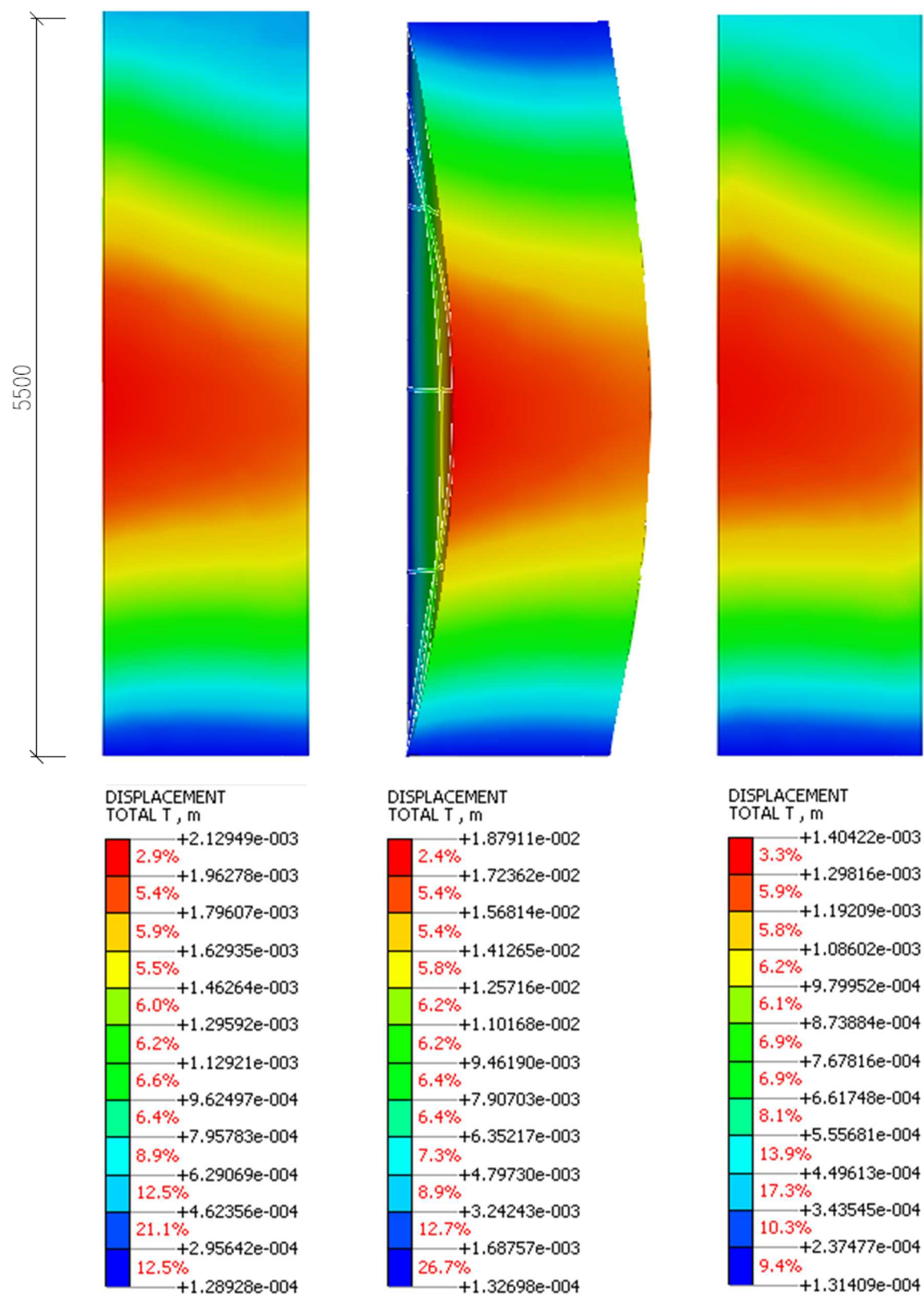
Obr. 32 Udržanie hrádze na pôvodnom mieste a jej deformácie

Na grafe (Obr. 33) je znázornená deformácia hrádze v mm počas zatápania Ostravskej dielčej panvy, jej nárast vplyvom zaťaženia vodného stĺpca až do 50 m a pokles po vyrovnaní hladiny vody. Podľa grafu je deformácia vplyvom zaťaženia vodného stĺpca lineárne závislá a po vyrovňavaní hladín táto deformácia klesá až na konečnú deformáciu.



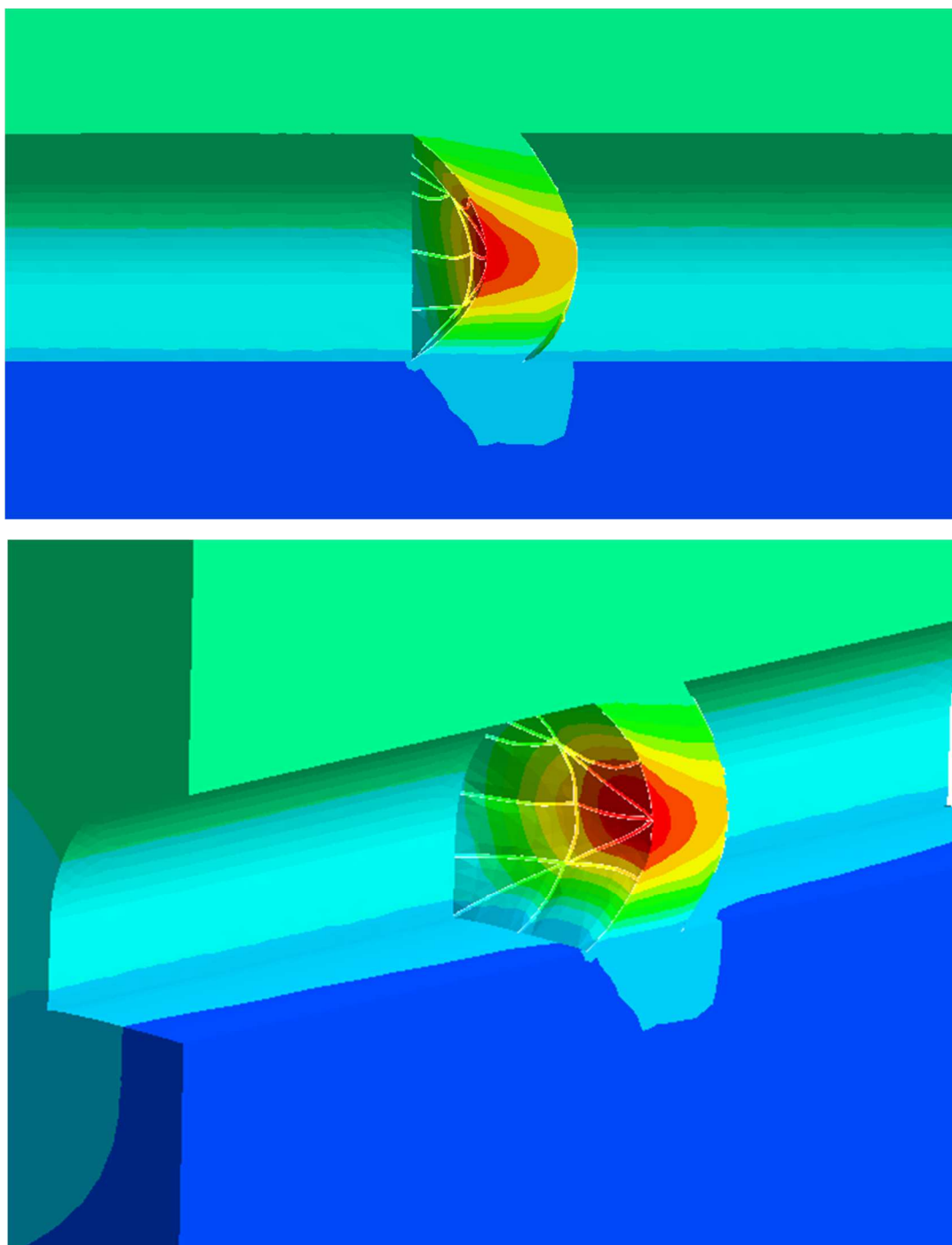
Obr. 33 Vplyv zaťaženia na deformáciu

Na obrázku 34 sú znázornené maximálne a minimálne deformácie v priebehu zatápania, vľavo pred zatápaním, uprostred počas a vpravo po zatopení.



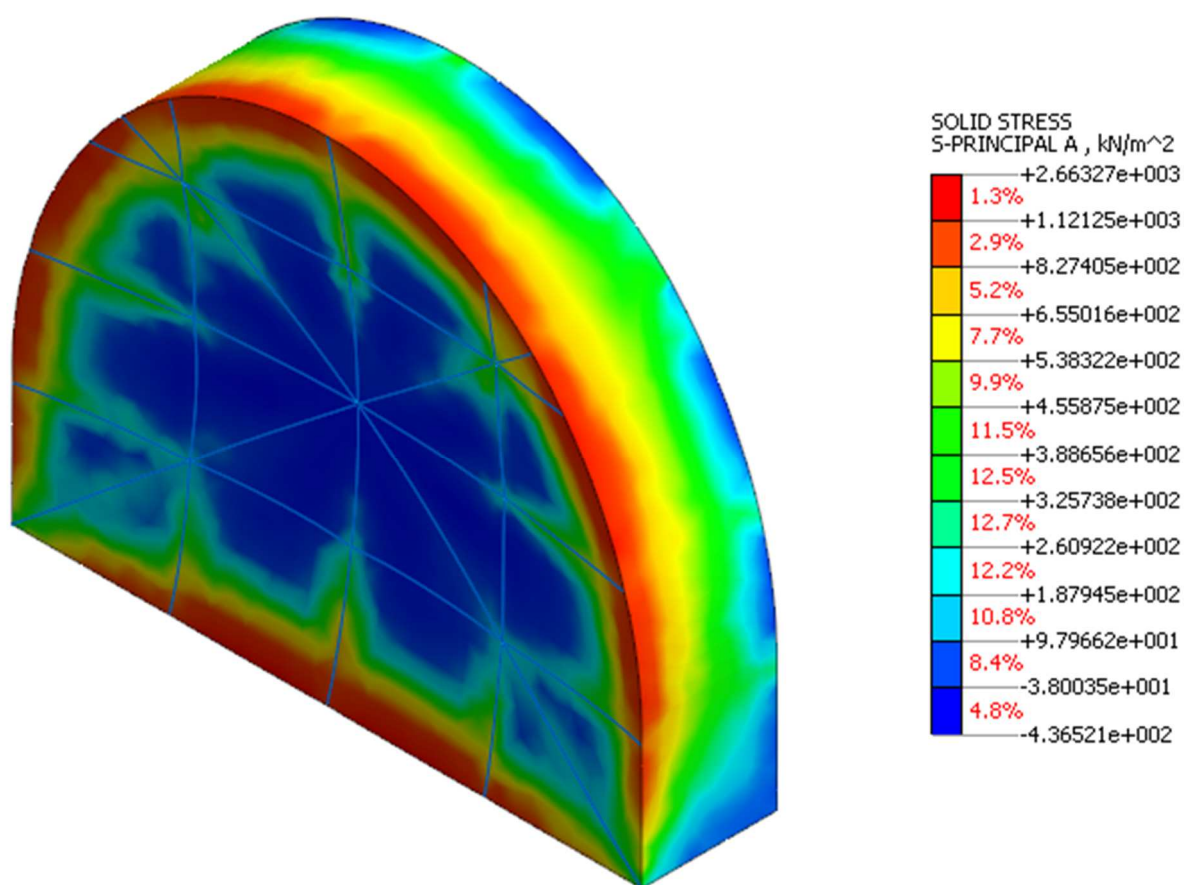
Obr. 34 Deformácie varianty A

Na obrázku 35 je ukážka deformácie hrádze, ktorá je však pre predstavivosť zväčšená. Na obrázku sú zjavné pôsobenia deformácie, ktoré sa od stredu zmenšujú až po úplný okraj, kde sú nulové. Tiež je možné si povšimnúť deformáciu (sadanie) podložia, na ktoré pôsobí váha hrádze spolu s roznosím síl od tlaku na hrádzu.



Obr. 35 Ukážka deformácie

Pre posúdenie únosnosti hrádze ponúka MIDAS GTS NX hlavné namáhanie v podobe S-PRINCIPAL A až C. Z výsledku na obrázku č. 36 vyšlo najväčšie namáhanie v S-PRINCIPAL A. Toto namáhanie naberá maximálne napätie $2\,663\text{ kN/m}^2$, čo je v prepočte $2,663\text{ MPa}$. Pre posúdenie únosnosti vychádzam z pevnosti v tlaku a v ťahu pre-injektovaného kameniva dvojzložkovou organicko-minerálnou živicom (Príloha č.1). Prevedenie bolo spravené laboratórnymi skúškami spoločnosťou MINOVA podľa EN ISO 604 a EN ISO 527-2. Stanovené boli hodnoty po 24 hodinách pre pevnosť v tlaku 39 MPa a pre pevnosť v ťahu $6,2\text{ MPa}$. Pri porovnaní z vychádzajúcim napätím je zjavné, že napätie neprekračuje pevnosť v ťahu ani v tlaku, čím je jasne stanovená únosnosť hrádze.



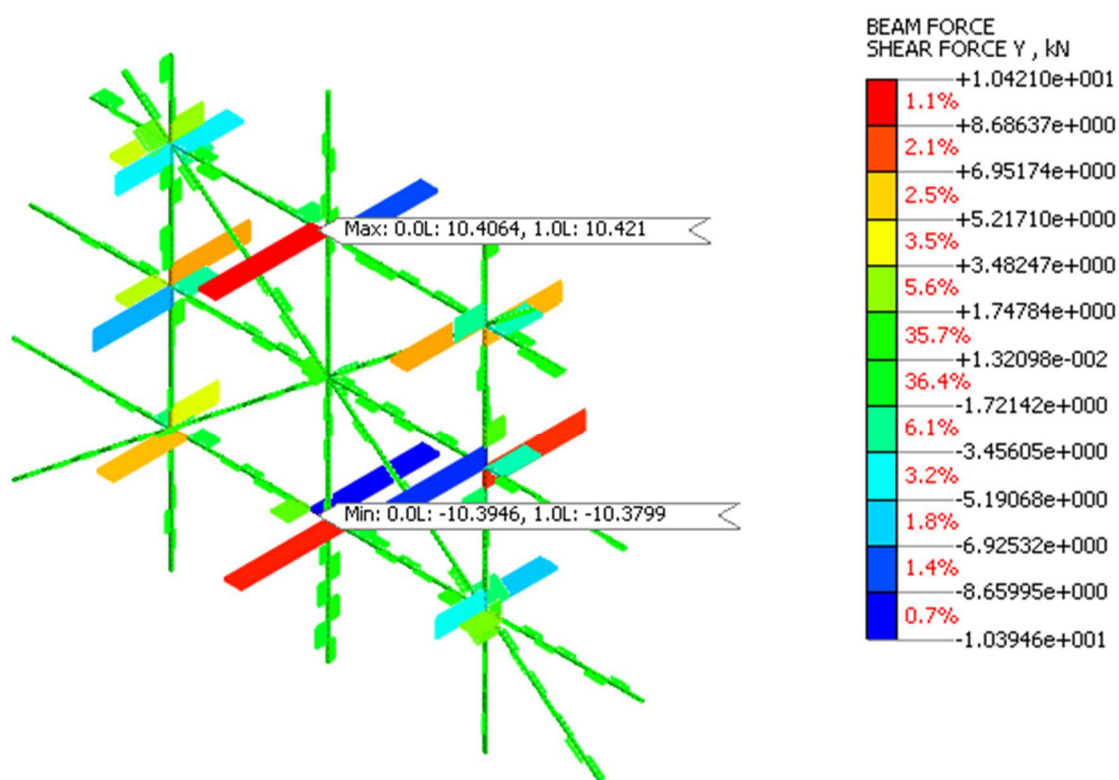
Obr. 36 Hlavné namáhania varianty A

10.1.2 Tyčové ťahadlá

Čo sa týka tyčových ťahadiel, pôsobí na ne tiež tlakové zaťaženie. Takto zaťažené prvky sú tak namáhané kombináciou ohybu a ťahu. Ich znázornenie je vo výsledkoch pod textom. Pre posúdenie na ohyb, kvôli vratným deformáciám vychádzam z predpokladu $L/250$, čo činí pri najkratšom ťahadlom (5,5 m) 22 mm. Maximálny ohyb je totožný s priehybom hrádze 18,8 mm čo je menšie ako 22 mm. Tyčové ťahadlá sú priemeru 36. Pre zabránenie posunu tyčových ťahadiel sú na jeho oboch koncoch upevnené horninové svorníky, na ktoré sa prenáša ťahová sila.

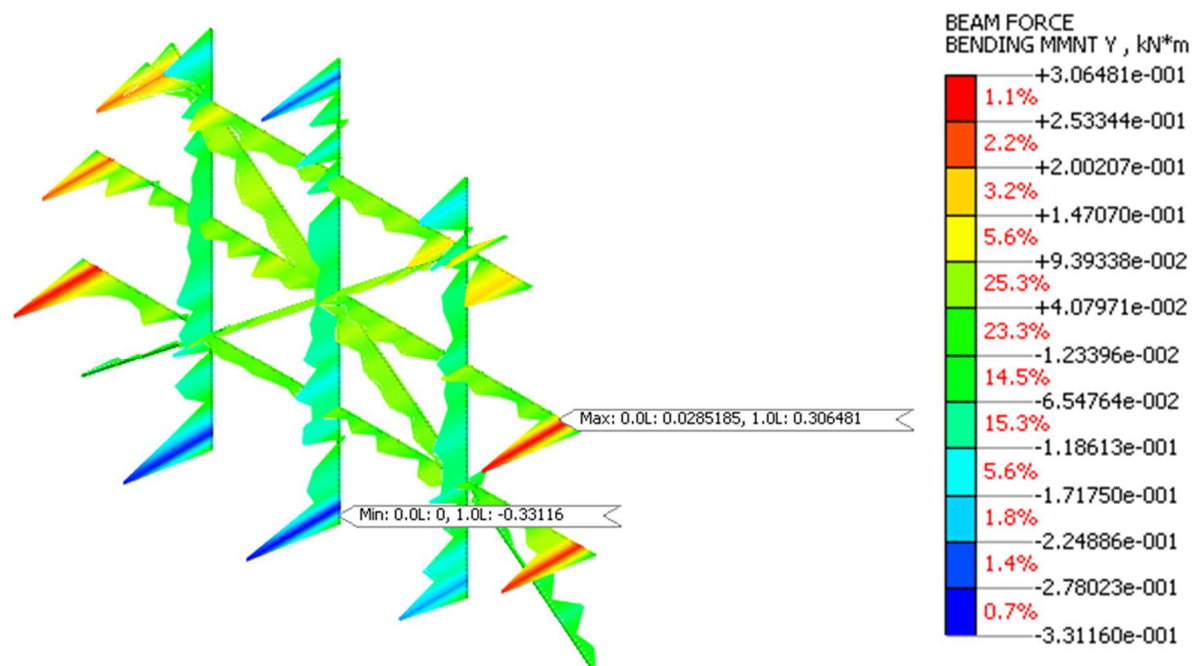
Výsledky:

Strih v ose Y:



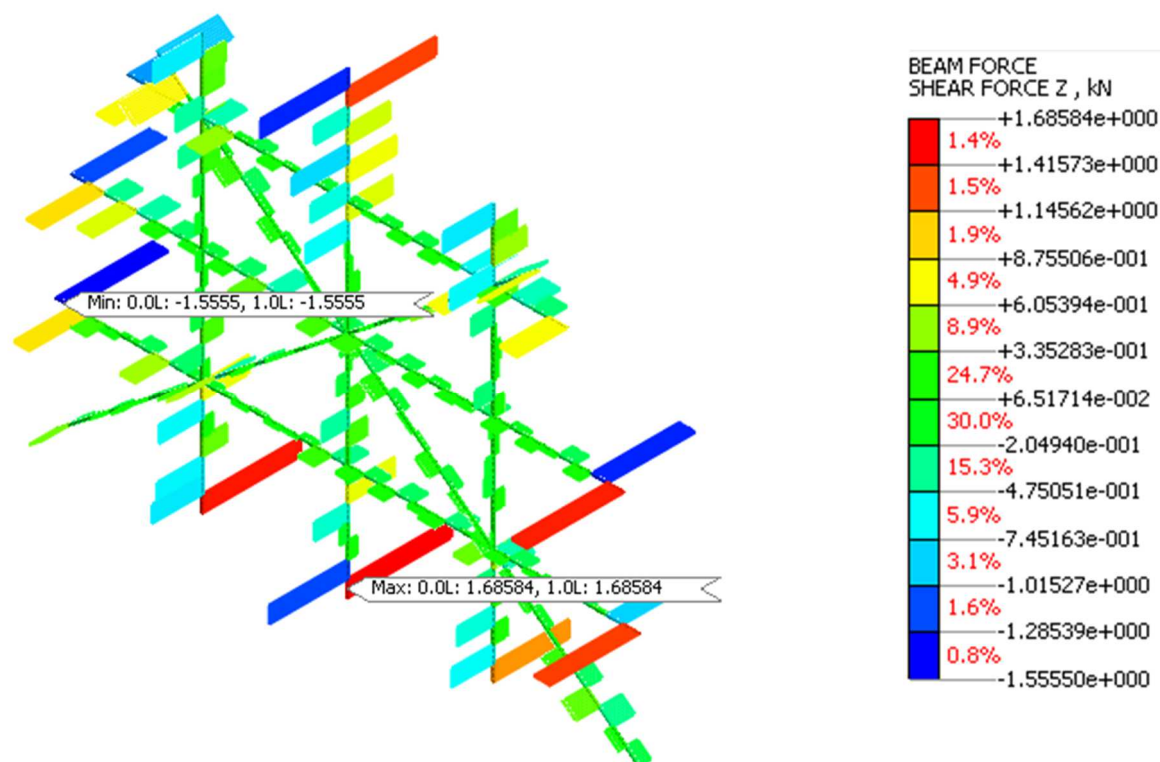
Obr. 37 Strih v ose Y

Moment v ose Y



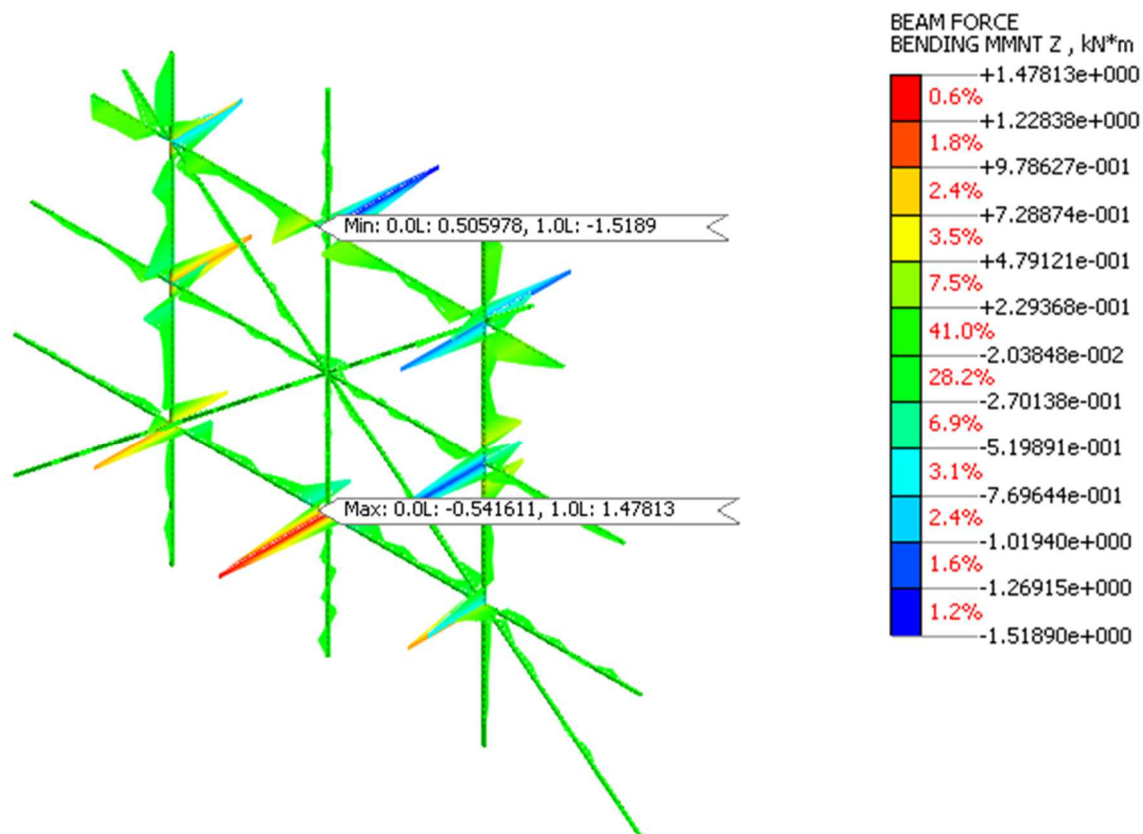
Obr. 38 Moment v ose Y

Strih v ose Z



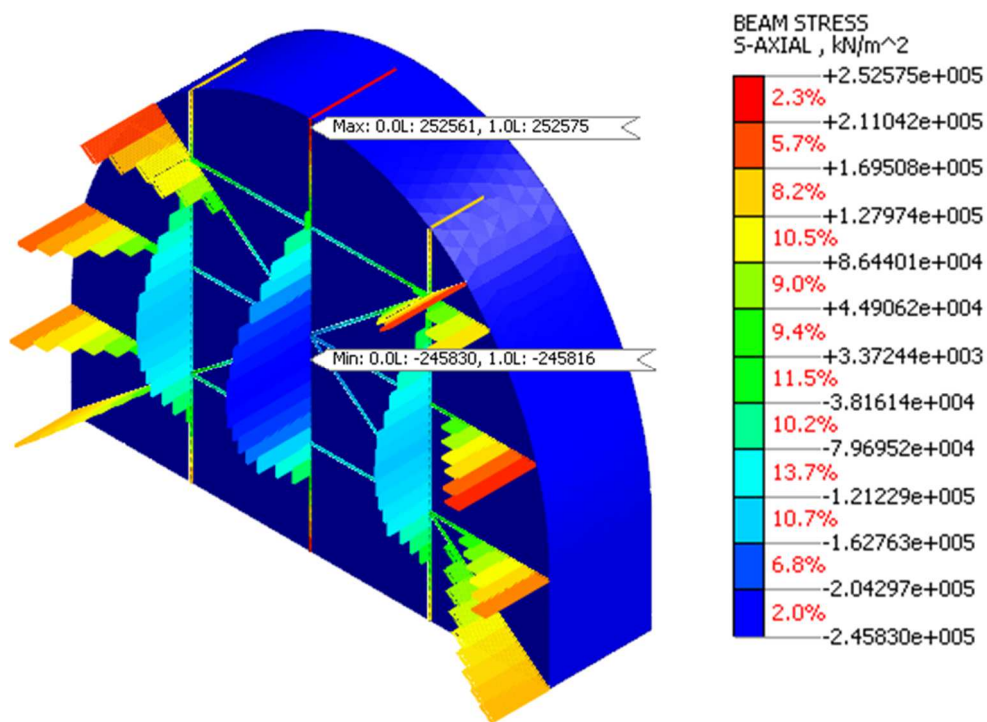
Obr. 39 Strih v ose Z

Moment v ose Z



Obr. 40 Moment v ose Z

Axiálne sily na prútoch (S-AXIAL)



Obr. 41 Axiálne sily na prútoch

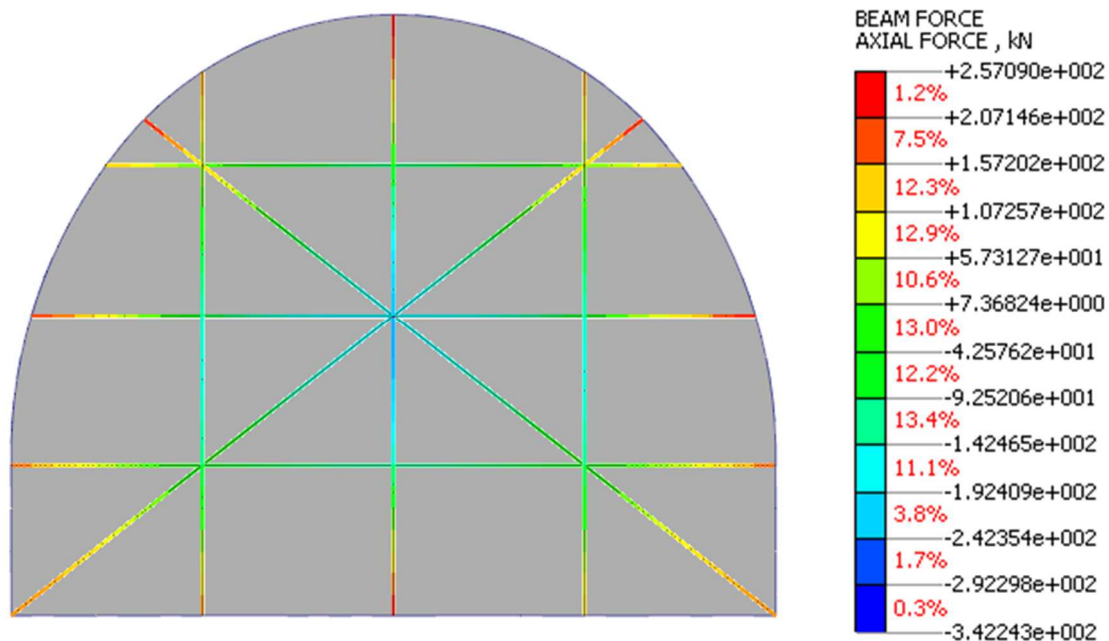
10.1.3 Horninové svorníky

Jedným z hlavných prvkov, ktoré zabezpečujú umiestnenie hrádze na svojom mieste sú horninové svorníky, ktoré prenášajú zaťaženie pôsobiace na hrádzu do horninového masívu.

Pre návrh kotviaceho prvku boli určené celozávitové predpínacie tyče CKT (Príloha 2) s použitím lepiacej ampule (Príloha 3) od spoločnosti Minova.

Podľa technických údajov bol zvolený priemer 36 mm, rovnaký ako tyčové ťahadlá.

Kvôli nedostatku informácií ohľadom horninového masívu sú horninové svorníky navrhnuté pomocou tabuliek a skúšok od spoločnosti Minova pre daný typ horninového svorníku a lepiacej ampule. Pre určenie dĺžky horninového svorníku vychádzam z únosnosti lepiacej ampule 300 kN/m. Z modelu (Obr. 42) vychádzajú maximálne ťahové sily pôsobiace v ťahadlách 257 kN a preto doporučenú dĺžku horninových svorníkov stanovujem v rozpätí 2 – 3 m. Dĺžka je tiež viazaná na porušenie horniny v okolí diela, vplyvom razenia a samostatnej stabilizácie diela po vyrazení. Pre presné určenie požadovanej dĺžky horninového svorníku pri maximálnej sile, je treba však uskutočniť minimálne jednu skúšku vytrhnutia v budovanom masíve podľa eurokódu 2.

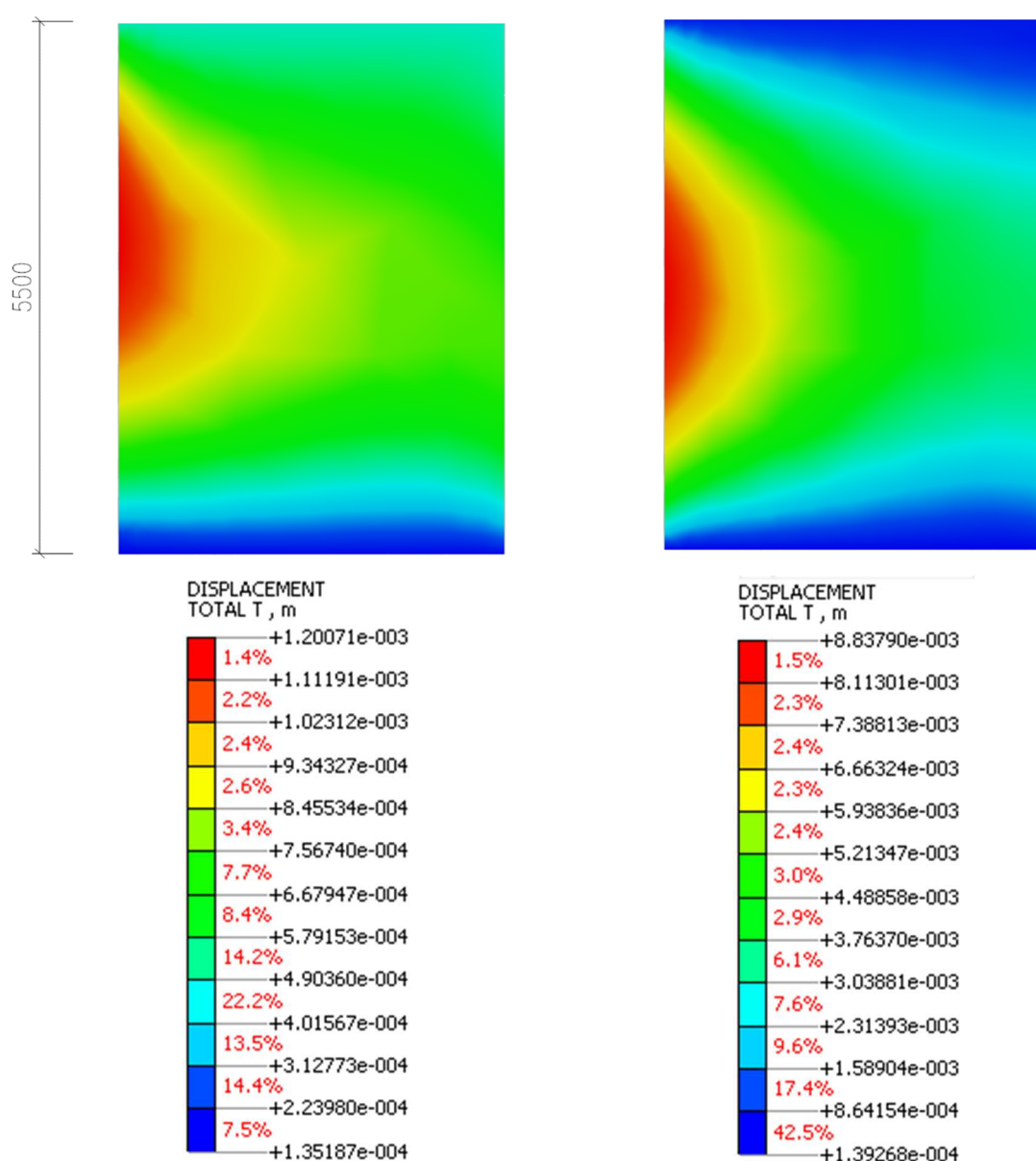


Obr. 42 Ťahové sily pre návrh kotiev

10.2 Varianta B

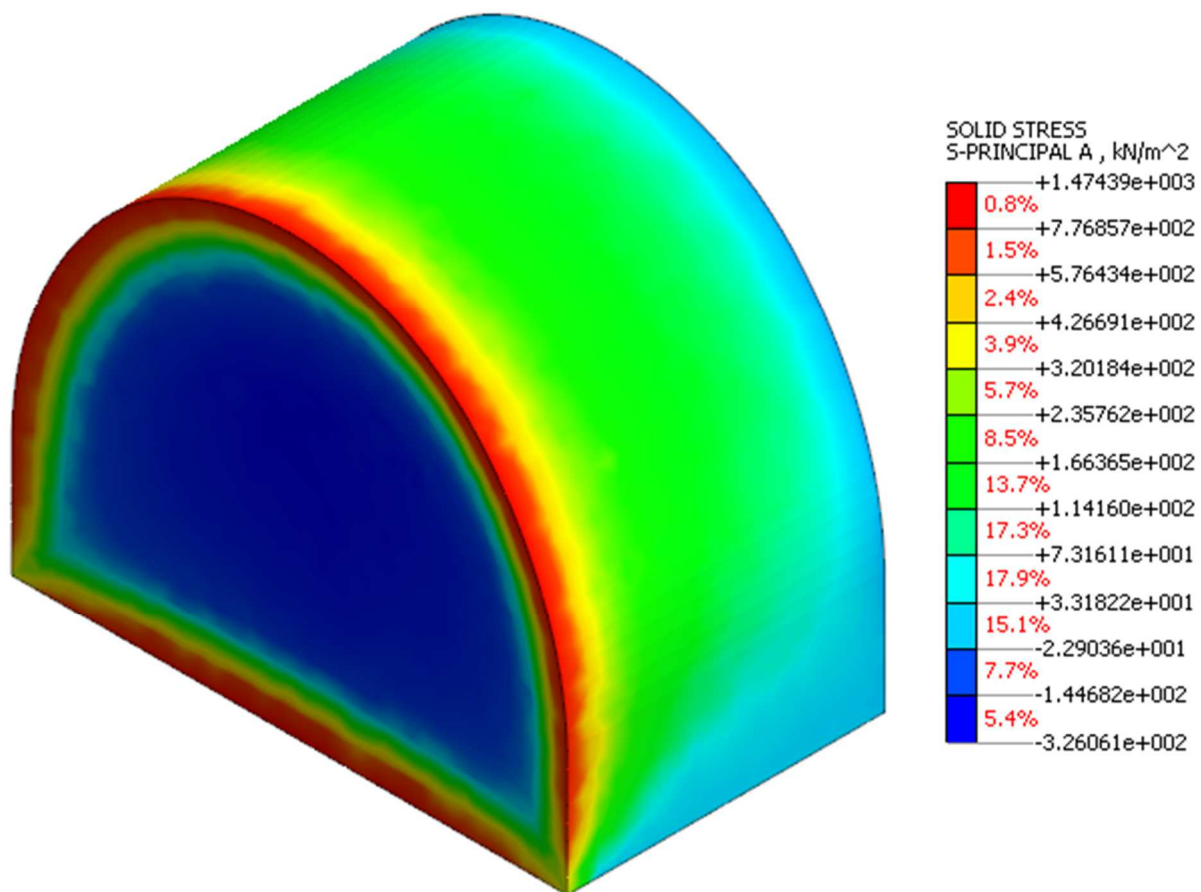
10.2.1 Hrádza

Vykreslenie celkového posunu, respektíve deformácie hrádze, predstavuje v prípade varianty B jej zatlačenie hlbšie do horizontálneho diela. Posun hrádze je tak sprevádzaný počiatočnou deformáciou (Obr. 43 vľavo) od zásypového materiálu, ktorý hrádzu posunie len čiastočne, o jej konečný posun sa postará až zaťaženie vodného stĺpca (Obr. 43 vpravo). Po vyrovnaní hladiny vody sa už však nepredpokladá veľký posun hrádze vďaka poklesu tlaku.



Obr. 43 Deformácie varianty B

Pre posúdenie únosnosti hrádze vychádzam z rovnakých podmienok ako pri variante A. Z obrázku č. 44 vychádza maximálne hlavné namáhanie v S-PRINCIPAL A s hodnotou 1 474 kN/m² čo je v prepočte 1,474 MPa. Táto hodnota neprekračuje únosnosť pre-injektovaného kameniva v tlaku (39 MPa) ani v ťahu (6,2 MPa). Čím je stanovená únosnosť hrádze.



Obr. 44 Hlavné namáhania varianty B

Záver a diskusia

V rámci predloženej diplomovej práce, boli zhrnuté všetky poznatky o zatápaní Ostravskej dielčej panvy a jej problematike s výberom najpravdepodobnejšej teórie (Youngova). Súčasťou bolo tiež uvedenie problémov, ktoré môžu nastať a ich následné zhodnotenie. Práca tak bola vedená smerom na stabilitu banských diel s významom pri zatápaní na vyrovňovanie Ostravského bazéna.

Pre uvedenie do problému je rozobratá téma likvidácií banských diel v minulosti, ich poruchy a sanácie, v rámci ktorých sa práca odvíja. V rámci návrhu modelu je tiež rozobraná téma s ČBU 52/1997 Sb., od ktorej sa odvíjajú požiadavky pri likvidácií banských diel.

Horizontálna hrádza tak bola navrhovaná na základe udalosti (nehody), ktorá nastala na jame Jakub. Pre objasnenie problému sa jednalo o únik zásypového materiálu a vytlačenie vody v jamovom stvole o výšku cca 50 m. Tento podnet inicioval k vytvoreniu horizontálnej hrádze, ktorá je schopná dokonale prepúšťať vodu a udržať zásypový materiál (nesúdržný) v jame.

Vytvorené boli dve varianty matematických modelov novej hrádze v geotechnickom softvéri Midas GTS NX a analyzovanie ich napäťovo-deformačného stavu.

Prvý model ukázal, že navrhnutý systém hrádze je dostatočne stabilný a k maximálnemu pretvoreniu dochádza v strede hrádze (18 mm) a na okraji je pretvorenie takmer nulové vďaka systému horninových svorníkov spolu s tyčovými ťahadlami. Po znížení zaťaženia, vďaka tomuto systému, dochádza k vratným deformáciám z hodnoty 18 mm na hodnotu 1,4 mm. Na ťahadlá pôsobí maximálna ťahová sila 257 kN, proti ktorej je navrhnutá kotva o sile 600 až 900 kN, čo predstavuje dostatočnú pevnosť proti vytrhnutiu a kolapsu hrádze. Je teda preukázané, že táto hrádza je dostatočne tuhá a odolná proti rozdielu hladín vôd. Hrádza je tiež odolná proti vplyvu hydrodynamických účinkov vody, na základe jej minimálnej hrúbky a dostatočnej priepustnosti, ktorú garantuje zlepenie lomového kameňa s priemerom 150 až 250 mm.

Druhý model preukázal dostatočnú stabilitu s menším pretvorením oproti variante A. Pretvorenie predstavovalo maximálne 8 mm, ale v porovnaní s prvým modelom je toto pretvorenie nevratné. Varianta B je totiž navrhovaná a modelovaná ako hrubostenná hrádza o celkovej hrúbke 4 m, bez systému horninových svorníkov a tyčových ťahadiel. Druhý model teda nepredstavuje vratné deformácie, čiže deformácia je závislá od pôsobiaceho maximálneho zaťaženia za jej celkovú životnosť. V oboch prípadoch je však použitá injektáž

(Príloha č. 1) na lomový kameň. Takto pre-injektovaný materiál nie je deformovaný, rozpukaný alebo inak narušený vplyvom zaťaženia tlakom a ťahom od zásypového materiálu a vody, pretože toto zaťaženie nepresahuje pevnostnú hodnotu v tlaku ani ťahu pre-injektovaného materiálu.

Pri porovnaní oboch variant vychádzam z dvoch predpokladov. V prvom predpoklade kedy varianta B je vhodnejšia, je situácia, kedy je jama už zlikvidovaná nespevneným zásypom a je možnosť a technológia previesť injektáž z povrchu na zásypový materiál vtlačený do horizontálneho diela (teória). Tiež je možnosť túto hrádzu použiť na novo likvidovanej jame, ale tu vstupuje vhodnosť varianty A. Varianta A má lepšie predpoklady v novo likvidovaných jamách z dôvodu jej lepšej priepustnosti a zabráneniu vplyvu piestového efektu oproti variante B, kde hrádza môže byť čiastočne zatlačená. Spolupôsobenie horninových svorníkov s ťahadlami dovoľuje hrádzu zaťažovať v rôznych cykloch, vplyvom výstupu vody (nerovnomerné zatápanie) a jej prúdenia, bez toho aby hrádza bola trvale deformovaná. V poslednej rade je tiež nutné konštatovať, že varianta A je značne technologicky (realizácia horninových svorníkov a tyčových ťahadiel) aj z hľadiska organizácie práce náročnejšia pri budovaní ako varianta B. Výhodou je však jednoduchšie prevedenie injektáže lomového kameňa, kedy je možné sústavu ťahadiel využiť pre vybudovanie pomocného debnenia počas procesu tvrdnutia injektáže. V rámci injektáže je nutné podotknúť, že čím je hrádza hrubšia, je obťažnejšie garantovať stopercentné vytvorenie „geokompozitu“ a značne sa navyšuje cena prevedenia hrádze.

Z uvedených faktov a predpokladov je môj názor, že varianta A je vhodnejšia pri budovaní hrádzi v novo likvidovaných jamách a mala by byť použitá ako prvá možnosť. Varianta B má všetky predpoklady pre jej vytvorenie a jej účinnosť ale oproti variante A má mnoho nevýhod.

Pri súhrnnom zhodnotení výsledkov modelovania, je však možné predpokladať, že hodnoty posunov (priehyb) horizontálnej hrádze budú menšie než hodnoty získané z 3D modelu. Dôsledok menších posunov (priehybov) je možné predpokladať na základe schopnosti filtrácie hrádze, čo kladne ovplyvní výšku vodného stĺpca v jamovom stvole.

Pod'akovanie

Ďakujem svojej vedúcej práce doc. Ing. Nadi Rapantovej, CSc., za jej odborné vedenie, pomoc, cenné rady a informácie, ktoré mi poskytla pri vypracovaní diplomovej práce. Ďalej sa chcem poďakovať pánom: Ing. Liborovi Jalůvkovi zo spoločnosti DIAMO, Ing. Adamovi Janíčkovovi a Ing. Petrovi Kučerovi so spoločnosti Minova Bohemia s.r.o. za vedenie, pomoc a poskytnuté materiály potrebné pre moju prácu. Osobitné poďakovanie patrí mojej rodine, priateľke a priateľom za ich podporu a pomoc počas celého štúdia.

Zoznam použitých zdrojov

Knižné tituly :

- [1] ALDORF, Josef. *Mechanika podzemních konstrukcí*. Ostrava: Fakulta stavební, Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, 1999. ISBN 80-7078-695-7.
- [2] ALDORF, Josef, *Příspěvek k otázce stability zásypu likvidovaných jam*, Sborník referátů mezinárodní konference – Stavební likvidace dolů, nebezpečí plynoucích z nekvalifikované likvidace, s 90-92, Ostrava: 2001.
- [3] ALDORF, Josef, *Znalecký posudek k problematice likvidace mimořádné události na jámě JAKUB*, Ostrava: FAST VŠB-TU, 2001.
- [4] BERÁNEK, Ctirad, Tomáš STRAKOŠ, Alois KVĚTÁK. *Stará důlní díla v ostravsko-karvinském revíru*. VVUÚ, a.s. Ostrava Radvanice, Pikartská 7.
- [5] ČERNÝ, Ivo, ed. *Uhelné hornictví v ostravsko-karvinském revíru*. Ostrava: Anagram, 2003. ISBN 80-7342-016-3.
- [6] DOPITA, Miloslav. *Geologie české části hornoslezské pánve*. Praha: Ministerstvo životního prostředí ČR, 1997. ISBN 80-7212-011-5.
- [7] GRMELA, Arnošt, Naděa RAPANTOVÁ a JELÍNEK. *Výsledky dosavadního monitoringu a režim hydrogeologických poměrů v zatápěné ostravské dílčí pánvi*. In: *Mineral Raw Materials and Mining Activity of the 21st Century, Part I*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2003. ISBN 80-248-0246-5
- [8] GTS NX MIDAS. *User Manual: Chapter 4 Mesh* [online]. 2014 [cit. 2015-11-10]. Dostupné z: http://manual.midasuser.com/en_common/GTS%20NX/150/GTX.htm
- [9] CHLUPÁČ, Ivo. *Geologická minulost České republiky*. Praha: Academia, 2002. ISBN 80-200-0914-0.
- [10] KOSTKA, Jan. *Využití popílku a popílkových suspenzí při uzavírání dolů a při výstavbě hrázových objektů*. Disertační práce. Ostrava: VŠB-TUO, 2009.
- [11] KŘÍŽ, Petr. *Technologie zásypu hlubokých jam, zatopených důlní vodou*. DIAMO, státní podnik odštěpný závod GEAM Dolní Rožínka. Dolní Rožínka.
- [12] LVONČÍK, Samuel. *Lesní vegetace Slezské pahorkatiny a Ostravské pánve*. Diplomová práce. Brno: Masarykova univerzita, 2006.
- [13] MAKARIUS, Roman a Peter FASTER. *Memento důlních nehod v českém hornictví*. Ostrava: Pro OKD, HBZS vydal Montanex, 2008. ISBN 978-80-7225-271-8.

- [14] MALUCHA, Pavel. *Ovlivnění hydrosféry hlubinnou těžbou uhelného ložiska v období aktivní hornické činnosti a po jejím ukončení se zaměřením na OKR*. Disertační práce. Ostrava: VŠB-TUO, 2013.
- [15] MARTINEC, Peter. *Vliv ukončení hlubinné těžby uhlí na životní prostředí*. Ostrava: Pro Ústav geoniky AV ČR vydalo nakladatelství Anagram, 2006. ISBN 80-7342-098-8.
- [16] NEMETHOVÁ, Iveta. *Historie likvidace dolů v ostravské části ostravsko-karvinského revíru*. Ostrava.
- [17] PETRÁNEK, Jan, Jiří BŘEZINA, Eva BŘÍZOVÁ, Jan CHÁB, Jan LOUN a Přemysl ZELENKA. *Encyklopedie geologie*. Praha: Česká geologická služba, 2016. ISBN 978-80-7075-901-1.

Internetové stránky :

- [18] *Klub přátel Hornického muzea v Ostravě* [online] [cit. 2017-03-09]
Dostupné z : <http://wwws.hornicky-klub.info/view.php?cislocclanku=2008030008>
- [19] *Ostrava foto* [online] [cit. 2017-03-09]
Dostupné z: <http://www.ostravafoto.cz/fotogalerie/dul-hermanice>

Odborné časopisy :

- [20] ZÁCHRANÁŘ: *Útlum, to je likvidace jam*. Ročník XXX. Vydané júl-august 1993[cit. 2017-03-09]

Software :

- [21] Autodesk *AutoCAD 2016*. [počítačový program]
- [22] Microsoft. *Microsoft Office 2013*. [počítačový program]
- [23] *Midas GTS NX 2017*. [počítačový program]

Normy a vyhlášky:

- [24] Vyhláška ČBÚ 52/1997 Sb., *Vyhláška Českého báňského úřadu, kterou se stanoví požadavky k zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a bezpečnosti provozu při likvidaci hlavních důlních děl*

Zoznam obrázkov

Obr. 1 Baňa Michal (Zdroj : Wikipédia).....	10
Obr. 2 Ostravská dielčia panva (Zdroj: [7])	12
Obr. 3 Schematický rez ostravsko-karvinským revírom (Zdroj: [17]).....	13
Obr. 4 Najvyššia časť ostravského súvrstvia s morským poschodím a najspodnejšia časť karvinského súvrstvia s význačnou slojov Prokop na bázy a s typickým výskytom zlepenčov. (Zdroj: [17]).....	14
Obr. 5 Princíp "bazénov" a "prítokov" (Zdroj: [14]).....	15
Obr. 6 Pekárstvo Doubravě po vplyve dlhodobej ťažby bane Doubrava (foto M. Havrlant) ..	21
Obr. 7 Schéma hlavného banského diela pred a po likvidácií (Zdroj: [5])	24
Obr. 8 Jama Antonín pred Moravskoslezským divadlom (Zdroj: Wikipédia).....	25
Obr. 9 Rozdelenie jamových zátok podľa britských predpisov (Zdroj: [10]).....	31
Obr. 10 Ťažná vež jamy č. 2 po výbuchu (Zdroj: [13])	33
Obr. 11 Dnešná pamiatka pripomínajúca kozlíkový tvar ťažnej veže Heřmanice (Zdroj: [19])	34
Obr. 12 Geologický profil jamy Jakub.....	36
Obr. 13 Znázornenie ohybu hrádze pod tlakom vody a jeho prepúšťaniu	43
Obr. 14 Pre-injektovaný lomový kameň	44
Obr. 15 Schéma hrádze variant A	45
Obr. 16 Schéma hrádze variant B.....	45
Obr. 17 Pôsobiace sily v jame.....	48
Obr. 18 Rozmery modelu a hrádze.....	52
Obr. 19 Horninový masívu.....	53
Obr. 20 Hrádza	54
Obr. 21 Sieť tyčových ťahadiel	54
Obr. 22 Model	55
Obr. 23 Kontrola spojitosti.....	55
Obr. 24 Mohr-Coulombov model (Zdroj: [1])	56
Obr. 25 Hookov zákon	58
Obr. 26 13uzlový štvorboký ihlan (Zdroj: [8])	59
Obr. 27 Sieť na hrádzi	60
Obr. 28 Sieť v horninovom masíve	60

Obr. 29 Okrajové podmienky (Zdroj: [1])	61
Obr. 30 Okrajové podmienky	61
Obr. 31 Vnesenie gravitácie a zaťaženia	62
Obr. 32 Udržanie hrádze na pôvodnom mieste a jej deformácie	63
Obr. 33 Vplyv zaťaženia na deformáciu	64
Obr. 34 Deformácie varianty A	65
Obr. 35 Ukážka deformácie	66
Obr. 36 Hlavné namáhania varianty A	67
Obr. 37 Strih v ose Y	68
Obr. 38 Moment v ose Y	69
Obr. 39 Strih v ose Z	69
Obr. 40 Moment v ose Z	70
Obr. 41 Axiálne sily na prútoch	70
Obr. 42 Ťahové sily pre návrh kotiev	71
Obr. 43 Deformácie varianty B	72
Obr. 44 Hlavné namáhania varianty B	73

Zoznam tabuliek

Tab. 1 Chemizmus vôd VJJ (tabuľku poskytlo DIAMO s. p.).....	18
Tab. 2 Chemizmus vôd VJŽ (tabuľku poskytlo DIAMO s. p.).....	18
Tab. 3 Dĺžka ovplyvneného toku pod dolovaním v OKR (Zdroj: [15])	23
Tab. 4 Prehľad o stave uzatvorenia poschodí.....	38
Tab. 5 Vstupne parametre zásypového materiálu	50
Tab. 6 Zaťaženia v jednotlivých fázach	52
Tab. 7 Materiálové charakteristiky horninového masívu	57
Tab. 8 Materiálové charakteristiky pre-injektovaného kameniva	57
Tab. 9 Materiálové charakteristiky oceľových ťahadiel	58

Prílohy

- Príloha 1: Technický list Geoflex BB dvousložková organicko-minerálná pryskyřice
- Príloha 2: Technický list Celozávitové předepínací tyče CKT
- Príloha 3: Technický list Lepicí ampule LOKSET
- Príloha 4: Výkres hrádze varianty A
- Príloha 5: Výkres hrádze varianty B